vingt années de coopération européenne dans l'espace

rapport esa

'64





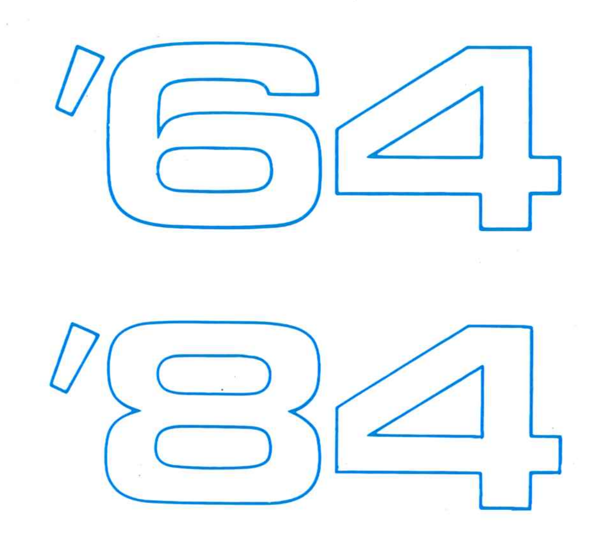
Ce Rapport est publié conformément à l'article XII, 1(b) de la Convention portant création d'une Agence spatiale européenne, aux termes duquel le Directeur général présente tous les ans un Rapport d'activité au Conseil.

Pour célébrer les vingt premières années de la coopération européenne dans l'espace, le Conseil a décidé de remplacer le Rapport 1983 par un rapport plus complet couvrant la période 1964–1984.

Responsables de l'édition:	Duc Guyenne & Norman Longdon
Secrétaire de rédaction:	James Hunt
Mise en page:	Willem Versteeg
Publié par:	Service des Publications scientifiques & techniques de l'ESA, ESTEC, Noordwijk (Pays-Bas).

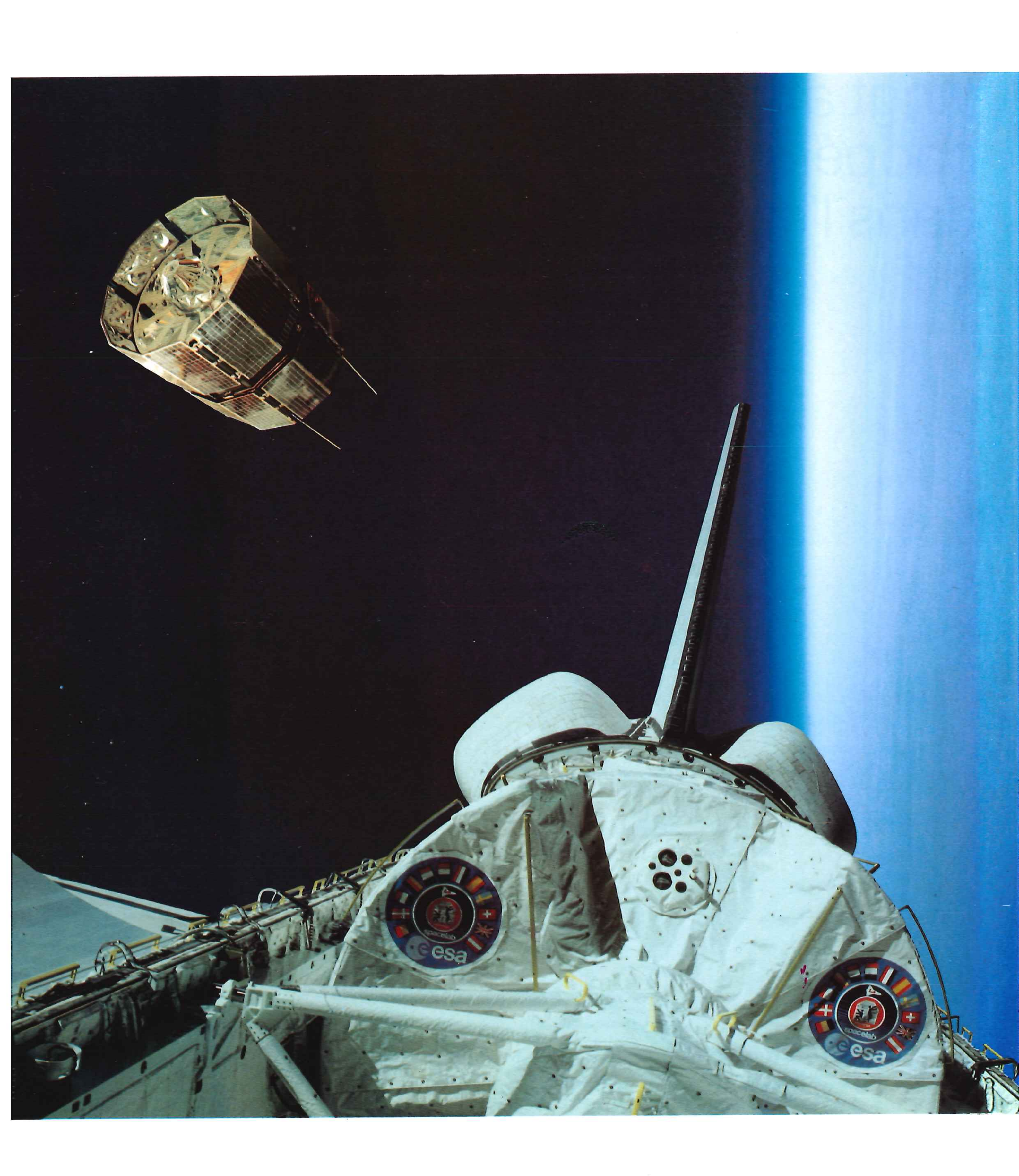
vingt années de coopération européenne dans l'espace

rapport esa



european space agency
agence spatiale européenne
8-10, rue Mario-Nikis, 75738 PARIS CEDEX 15, France

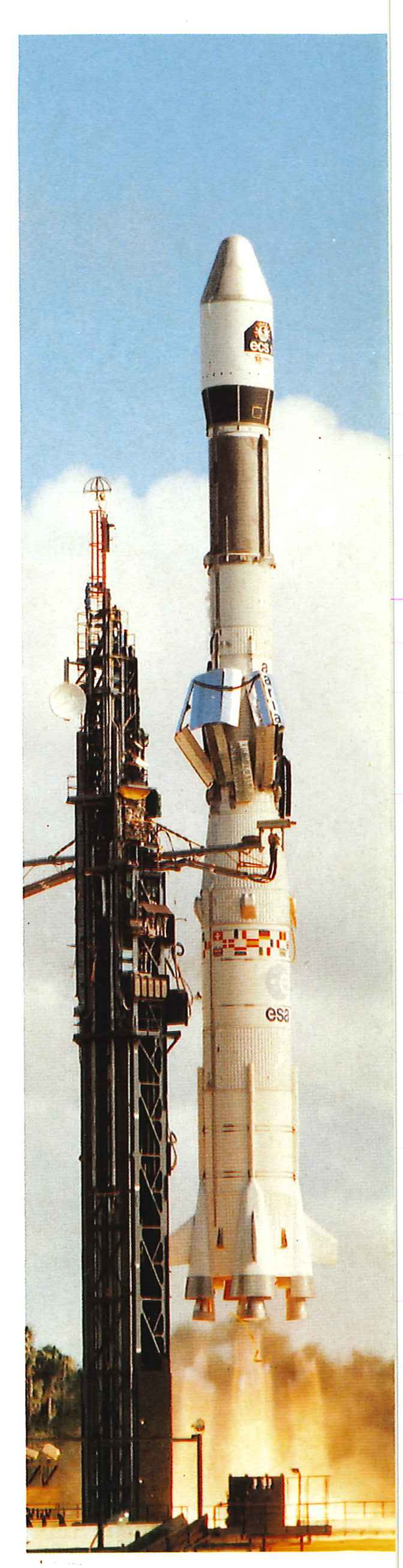
1964 – 1984



Jalons

sur un quart de siècle

1960	*1er décembre*	Conférence intergouvernementale de Meyrin (Suisse). Etablissement d'une Commission préparatoire de Recherche spatiale (COPERS).
1961	*27 février*	Entrée en vigueur du protocole de Meyrin.
	30 oct.-2 nov.	Conférence de Lancaster House (Londres). Rédaction d'une Convention pour l'établissement d'une Organisation européenne pour la mise au point et le lancement d'engins spatiaux (ELDO) avec 7 premiers membres: 6 pays européens plus l'Australie.
	décembre	Publication du 'Livre bleu' (Rapport du Comité scientifique et technique de la COPERS).
1962	*29 mars*	Signature de la Convention ELDO à Londres.
	14 juin	Conférence des Plénipotentiaires pour l'adoption de la Convention établissant une Organisation européenne de Recherche spatiale (ESRO).
1964	*29 février*	Entrée en vigueur de la Convention ELDO.
	20 mars	Entrée en vigueur de la Convention ESRO.
	8 juillet	Accord de coopération ESRO-NASA pour le lancement d'ESRO-1 & 2.
	29 juillet	Accord avec la Suède sur la base de lancement de Kiruna.
	15 août	Accord avec la France sur l'utilisation de la base de lancement de l'Ile-du-Levant.
1965	*19 janvier*	Accord avec l'Italie sur le centre de l'ESRIN.
	9 avril	Accord ESRO/ELDO sur un Service de Documentation spatiale commun.
	25 novembre	Contrat avec le CNES pour l'utilisation du réseau de poursuite & télémesure.
1966	*5 février*	Premier lancement de fusée-sonde depuis Andøya, Norvège.
	15 mars	Evaluation du Projet de grand satellite astronomique (LAS).
	10 juillet	Formation d'un groupe d'experts, présidé par M.J.H. Bannier, pour entreprendre la réforme des structures de l'ESRO.
	15 octobre	Un incendie détruit le bâtiment temporaire de l'ESTEC/ESLAB à Noordwijk.
	13 décembre	Première Conférence spatiale européenne (CSE) à Paris.
1967	*janvier*	Le 'Bulletin ESRO' – périodique officiel de l'Organisation – devient une publication trimestrielle.
	avril	Publication du 'Rapport Bannier'.
	29 mai	Echec du lancement d'ESRO-2A dû à la défaillance du 3è étage du lanceur Scout.
	11-13 juillet	2ème Conférence spatiale européenne à Rome.
	septembre	Inauguration de l'ESDAC/ESOC.
	décembre	Publication du 'Rapport Causse', qui plaide vigoureusement pour un programme spatial européen cohérent et complet.

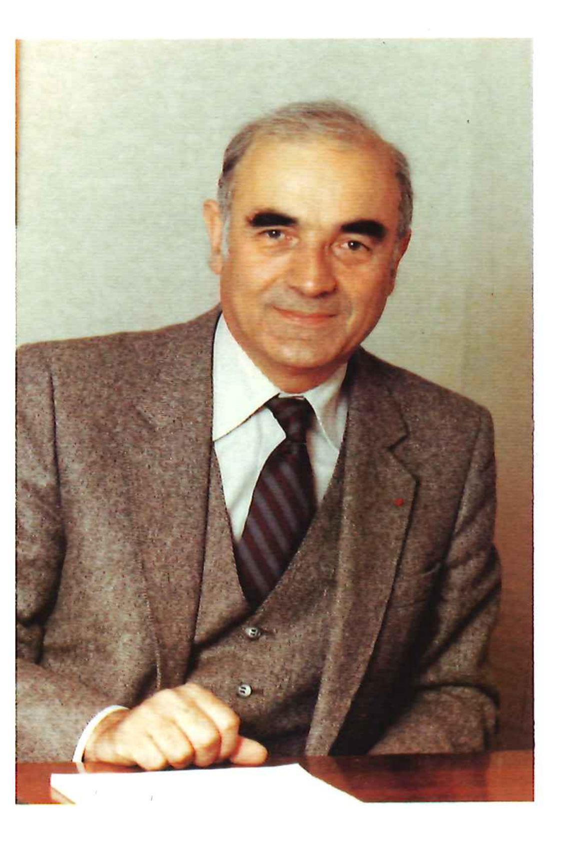


Des origines (ESRO-2) à nos jours (Ariane & Spacelab).

1968	*3 avril*	Inauguration de l'ESTEC par SAR la Princesse Beatrix et le Prince Claus des Pays-Bas.
	17 mai	Lancement réussi d'ESRO-2B – premier satellite de l'ESRO en orbite – par une fusée Scout.
	3 octobre	Lancement réussi d'ESRO-1A par une fusée Scout.
	novembre	3ème Conférence spatiale européenne à Bad Godesberg.
	5 décembre	Lancement réussi d'HEOS-1 par une fusée Delta.
1969	*février*	Achèvement du premier bâtiment de l'ESRIN.
	2 juillet	Echec du 8ème tir d'essai d'Europa-I.
	août	Mise en service du système RECON.
	1er octobre	Lancement réussi d'ESRO-1B par une fusée Scout.
1970	*juin*	Conférence NASA à Paris sur le programme post-Apollo.
	juin	Echec du 9ème tir d'Europa-I.
	juillet	1ère session de la CSE au niveau ministériel (Bruxelles). Dénonciation de la Convention ESRO par la France & le Danemark.
1971	*5 novembre*	Echec du premier et unique tir d'essai d'Europa-II (F11) depuis Kourou.
	décembre	Accord de la CSE sur le 1er 'Paquet de programmes': élargissement des programmes ESRO en particulier vers les applications. Résolution du Conseil sur la réforme de l'Organisation: révision de la Convention & introduction de 'Projets spéciaux'.
1972	*21 janvier*	Lancement réussi de HEOS-A2 par une fusée Delta.
	12 mars	Lancement réussi de TD-1A par une fusée Delta.
	22 novembre	Lancement réussi d'ESRO-4 par une fusée Scout.
	13 décembre	Dernier lancement de fusée-sonde ESRO depuis Andøya.
1973	*avril*	Arrêt de tous les programmes ELDO (y compris Europa III).
	juillet	Second 'Paquet de programmes': la CSE décide un nouveau départ pour l'Europe spatiale avec 3 nouveaux programmes (Spacelab, Ariane & Marots) et la création d'une Agence spatiale européenne (ESA).
	août	Approbation du programme Spacelab par le Conseil.
	24 septembre	Signature à Washington de l'Accord Etats-Unis/Europe sur le Spacelab.
1974	*février*	Accord ESRO/CNES sur l'exécution du programme de lanceur Ariane.
	août	Signature du protocole d'accord Aérosat. L'ESRO choisit la Comsat comme partenaire industriel.
	décembre	Transfert de tout le personnel restant de l'ELDO à l'ESRO.
1975	*31 mai*	Existence 'de facto' de la nouvelle Agence spatiale européenne.
	9 août	Lancement réussi de Cos-B (premier 'satellite ESA') par une fusée Delta.
	31 décembre	L'Irlande signe la Convention et devient le 11ème Etat membre de l'ESA.
1976	*octobre*	Installation de l'ESA dans son nouveau siège dont elle est désormais propriétaire.
	novembre	Le régime de pension du personnel est approuvé par le Conseil.

1977	*14-15 février*	Réunion à Paris du Conseil ESA au niveau ministériel. Fin de la CSE.
	20 avril	Lancement réussi de Geos-1 par une fusée Delta, mais sur une mauvaise orbite.
	13 septembre	Echec du lancement d'OTS-1, dû à la défaillance de la fusée Delta.
	22 octobre	Lancement réussi d'ISEE-B par une fusée Delta.
	23 novembre	Lancement réussi de Météosat-1 par une fusée Delta.
	décembre	Le Conseil décide de lancer Geos-2.
1978	*11 mai*	Lancement réussi d'OTS-2 par une fusée Delta.
	12 mai	Inauguration de la station sol de l'ESA à Villafranca (Espagne) par SM le Roi Juan Carlos.
	14 juillet	Lancement réussi de Geos-2 par une fusée Delta sur orbite de transfert géostationnaire.
1979	*juillet*	Cinq pays membres (rejoints ultérieurement par deux autres) décident d'entreprendre le programme L-Sat.
	18 octobre	L'Autriche devient membre associé de l'ESA.
	24 décembre	Succès du premier lancement d'essai d'Ariane (L01).
1980	*23 mai*	Echec du 2ème lancement d'Ariane (L02). Perte du satellite allemand Firewheel.
	30 octobre	Entrée en vigueur de la Convention ESA.
1981	*2 avril*	La Norvège devient membre associé de l'ESA.
	19 juin	Lancement réussi de Météosat-2 (en tandem avec le satellite indien APPLE) par Ariane L03.
	juillet	Le Conseil décide de construire un 2ème Ensemble de Lancement Ariane (ELA-2) à Kourou.
	20 décembre	Lancement réussi de Marecs-A par Ariane L04.
1982	*mars*	Démarrage du programme de télécommunications Prosat.
	10 septembre	Echec du 1er vol opérationnel d'Ariane (L5). Perte de Marecs-B et Sirio-2.
1983	*26 mai*	Lancement réussi d'Exosat par une fusée Delta.
	16 juin	Lancement réussi d'ECS-1 (premier satellite de télécom. opérationnel de l'ESA) en tandem avec le satellite radio-amateur Amsat par Ariane L6.
	18 octobre	Lancement réussi d'Intelsat-V F7 par Ariane L7.
	28 novembre	Lancement réussi de Spacelab-1 par la Navette Columbia (STS-9) pour une mission de 10 jours. Mission accomplie.
1984	*5 mars*	Lancement réussi d'Intelsat-V F8 par Ariane V8.
	9-11 mai	Célébration des 'Vingt premières années de coopération européenne dans l'Espace'.

Avant-propos



En 1929, à la tribune de la Société des Nations, à Genève, Aristide Briand proclamait 'qu'entre des peuples géographiquement groupés comme ceux de l'Europe devrait exister une sorte de lien fédéral'. Nous avons attendu vingt ans et subi bien des désastres, avant que l'Europe de Konrad Adenauer, de Robert Schuman, de Georges Monnet et d'Alcide de Gasperi prenne forme.

On trouverait sans peine, dans le champ de l'histoire moderne, une gerbe d'autres exemples où le fait vient couronner l'idée avec un délai de vingt ans. En technologie cependant, et plus spécialement en technologie spatiale, le temps de relaxation est plus classiquement deux fois plus court. Si nous disons aujourd'hui que l'Europe de l'Espace a vingt ans, c'est qu'elle s'est faite en deux étapes: celle de l'ELDO et de l'ESRO d'abord, puis celle du premier paquet de programmes de l'Agence spatiale européenne.

Un paquet bien conçu et bien ficelé, puisqu'il nous a conduit au succès. Nous souhaitions prendre notre place dans la recherche, dans l'industrie et dans le commerce: nous l'avons gagnée. Nos satellites scientifiques engrangent les données planétaires et stellaires et l'un d'entre eux va très bientôt prendre son essor vers une comète. Spacelab a fait en vol la preuve de ses performances. ECS et Marecs donnent des bonnes satisfactions à leurs usagers et Ariane a commencé une belle carrière sur le marché des transports spatiaux.

De décennie en décennie, nous voici arrivés au départ de la troisième. A nous de le bien prendre. Notre tâche est plus aisée que celle de nos prédécesseurs: nous avons plus de recul et plus d'expérience. Elle est aussi plus complexe: dans le foisonnement des idées et des projets, il faut choisir, à la mesure de nos ambitions et de nos moyens mais avec l'optimisme de la volonté. Nos successeurs dans dix et vingt ans jugeront les choix que nous allons faire.

L'Europe est un 'impératif catégorique' disait Alcide de Gasperi. En prenant le risque de pratiquer une philosophie moins orthodoxe et plus opportuniste, je dirais plutôt qu'elle est un impératif 'catégoriel'. Il faut faire

l'Europe d'abord là *où elle peut réussir* maintenant. *Le militantisme européen ne doit pas seulement être convaincu, il doit être aussi convaincant: l'heureux déroulement de nos entreprises spatiales est un argument solide. Il est, certes, loin d'être le seul et beaucoup d'autres encore suivront, à leur rythme propre.*

Hubert Curien
Président du Conseil

Sommaire

Introduction



Il arrive un moment dans la vie de n'importe quelle organisation où, jetant un regard en arrière, on doit tirer les leçons de l'histoire pour mieux se préparer à affronter l'avenir. Le vingtième anniversaire de l'Europe spatiale semble être le bon moment pour l'ESA de faire une pause et de rassembler ses forces. Au cours des douze derniers mois, nous avons assisté à la mise au point et au vol de Spacelab, à la première utilisation commerciale du lanceur Ariane, à l'exploration de nouveaux aspects de l'espace par un satellite scientifique à la fois complexe et révolutionnaire (Exosat), au fonctionnement régulier et satisfaisant de Marecs pour le compte d'INMARSAT, et à la prise en charge d'ECS par EUTELSAT.

Les pères fondateurs n'auraient guère pu prévoir ce à quoi leur obstination à mener une aventure européenne conduirait vingt années plus tard. Ils n'approuveraient certainement pas – et les pionniers survivants non plus – le second rôle que la science spatiale a dû occuper, sur le plan financier, vis-à-vis des systèmes de transport spatial et des programmes d'application. Certes, la science reste au coeur de l'Agence, en tant que programme obligatoire, mais il s'est avéré de plus en plus difficile de persuader les Gouvernements de financer la recherche scientifique dans l'espace alors que d'autres intérêts, apparemment plus immédiats, doivent lutter pour obtenir des crédits limités.

Pourtant, l'actif de l'Europe dans le domaine de la science spatiale depuis le début des années 1960, et surtout depuis le lancement réussi du premier satellite en 1968, a fait l'objet d'envie d'une grande partie de la communauté scientifique mondiale. L'adversité peut faire ressortir ce que les scientifiques et les technologues, sans oublier quelques autres, ont de meilleur, et l'opération de sauvetage de l'enregistreur à bande magnétique de TD-1A comporte toutes les péripéties d'un récit d'aventures, avec l'expédition de petites équipes et d'un matériel léger dans tous les coins du globe pour capter des données de la plus haute importance. Il en est également ainsi de Geos-1, dont on aurait pu aisément conclure l'histoire d'un trait de plume après un lancement défectueux. Mais le personnel de l'ESRO pensa autrement, et une grande quantité de données utilisables vint récompenser par la suite ses efforts.

Ceux qui devaient batailler pour sauver l'ELDO n'eurent pas autant de chance. On peut voir maintenant que les décisions politiques compromirent gravement les chances de succès technique. La leçon que nous pouvons en tirer est que les technologies de pointe doivent être pensées dans leur intégralité, depuis la conception à la réalisation. Mais tout ne fut pas perdu car, sans ces premières entreprises de l'ELDO, nous n'aurions pas eu aujourd'hui la famille de lanceurs Ariane.

Il est intéressant, lorsqu'on regarde en arrière, de noter que la durée de gestation de toute aventure spatiale dépasse de loin celle même de l'éléphant. Entre les premières idées et des retombées positives d'un

satellite, il faut parfois une dizaine d'années ou plus. Des considérations financières jouent un certain rôle dans cet intervalle de temps, mais même avec un financement illimité, les délais seraient excessivement longs.

Avec des changements constants dans les postes de haute responsabilité et des mandats qui couvrent à peine la durée d'un programme, voire celle d'un projet, l'Agence ne peut compter que sur le dévouement et la compétence de son personnel. Au cours des années, mes prédécesseurs ont souvent rendu hommage au personnel, tout en signalant que toute organisation d'une nature aussi complexe a son lot de 'nonchalants' qui ne partagent pas l'objectif commun.

Mais je crois que ces derniers sont rares et que leur nombre diminue régulièrement. Dans la majorité des cas, les Gouvernements devraient être reconnaissants du niveau élevé des performances techniques et de l'intégrité dont font preuve ceux qui font passer l'idéal européen avant leurs intérêts nationaux. Malheureusement, aux yeux du personnel, cela ne semble pas toujours être le cas.

J'ai dit, au début de cette introduction, que c'était le bon moment pour faire une pause et pour réfléchir. Les vingt années passées font apparaître bien plus de succès que d'échecs, et une aptitude éprouvée à tirer les leçons des erreurs.

Les dirigeants politiques doivent maintenant prendre des décisions nouvelles et de grande portée. Avec la récession qui fait encore partie de notre horizon quotidien et la résurgence du nationalisme, la tentation existe, ici et là, de bouder l'idéal européen!

Mais sur les chemins brillants de l'avenir, on ne peut s'aventurer seul. Tandis que l'Europe recueille les admirables résultats de Spacelab, de nouveaux concepts de lanceurs peuvent faire affluer les commandes de nombreux clients de par le monde. Cependant la recherche en télédétection et en microgravité n'est pas encore appréciée à sa juste valeur. Et la science fondamentale, qui est un des fleurons de l'Agence, a atteint un stade où une réestimation de son financement est nécessaire si l'Europe ne veut pas déchoir de son rang dans le monde.

Tout cela coûte de l'argent qui n'est pas disponible, aussi – sagesse oblige – des décisions politiques doivent-elles être prises au plus haut niveau qui tiennent compte de ce qui est le meilleur pour l'Europe plutôt que pour ses différentes composantes. De ces décisions dépendra le sort de la recherche spatiale européenne au cours des vingt prochaines années.

E. Quistgaard
Directeur général

1



Les fondements historiques

Le choc psychologique et politique causé dans le monde entier par l'entrée de l'humanité dans l'ère de l'espace, grâce au lancement des premiers satellites soviétique (1957) et américain (1958) ne pouvait manquer de se répercuter sur le Vieux Continent et d'obliger les pays européens à se demander comment ils pouvaient faire face à ce défi. Si certains d'entre eux, comme le Royaume-Uni et la France purent le faire assez rapidement, dans une mesure limitée, dans un cadre national, aucun n'avait les moyens économiques ni techniques lui permettant de s'élever, seul, à un niveau comparable à celui des deux super-puissances spatiales. Pour que l'Europe dans son ensemble ne fût pas absente de la course à l'espace qui s'engageait, il fallait que les pays qui la composent et qui disposaient déjà, individuellement, de moyens non négligeables, dans les domaines scientifique, technique et industriel, acceptent de s'unir. La coopération était, en effet, la condition nécessaire pour permettre aux pays européens de jouer, dans ce domaine nouveau, le rôle auquel les appelaient tant leur passé historique que leurs ressources présentes.

Mais cet objectif n'a pu être atteint qu'au terme d'une longue série d'événements qui ont permis à l'Europe de se doter, à l'expiration d'une période qui n'a pas duré moins d'une vingtaine d'années, d'un instrument – l'Agence spatiale européenne – à la mesure de ses ambitions. Il est certain qu'un aussi long délai est dû, avant tout, à des causes politiques, c'est-à-dire à la difficulté qu'ont éprouvée les pays européens à s'entendre sur la définition d'une politique spatiale européenne, plus qu'aux problèmes d'ordre institutionnel proprement dit. C'est pourquoi, l'histoire de la coopération européenne dans l'espace pendant les 20 dernières années ne doit pas seulement comporter un rappel de la création de l'Organisation européenne de Recherches spatiales (CERS/ESRO) et de l'Organisation européenne pour la Mise au point et la Construction de lanceurs d'engins spatiaux (CECLES/ELDO), dont l'Agence spatiale européenne est issue; cette histoire doit aussi exposer les efforts qui ont été faits pour coordonner les objectifs et le fonctionnement de ces deux organisations, auxquelles s'est ajoutée pendant quelque temps une structure institutionnalisée, la Conférence européenne des Télécommunications par satellites (CETS), le tout étant placé sous l'autorité des ministres européens responsables des questions spatiales, regroupés au sein de la Conférence spatiale européenne (CSE).

Dès lors, il ne serait pas justifié de dresser un tableau purement chronologique de l'évolution de chacune de ces organisations, pas plus qu'il ne serait possible de faire abstraction de l'influence qu'elles ont exercée les unes sur les autres. C'est plutôt une approche globale qu'il a été jugé préférable de retenir et on distingue ainsi:

1. La période préliminaire de 1962 à 1964.
2. Les organisations spatiales européennes de 1964 à 1975.
3. La recherche d'une solution aux problèmes de l'espace européen par la Conférence spatiale européenne entre 1967 et 1975.
4. La création de l'Agence spatiale européenne en 1975.
5. Les activités de l'Agence spatiale européenne depuis 1975 (cette dernière partie faisant l'objet des chapitres 2 à 10 du présent rapport).

L'émergence de l'Europe dans l'exploration spatiale marqua l'aurore d'une nouvelle ère pour la science et la technologie.

La période préliminaire (1962–64)

L'affirmation par les pays de l'Europe occidentale de leur volonté d'être présents dans l'espace, est d'abord apparue comme l'expression de leur désir de ne pas se laisser trop distancer dans l'exercice d'activités nouvelles, beaucoup plus que comme la manifestation d'une perception claire de l'intérêt intrinsèque de ces activités, dans le présent et dans l'avenir. Aussi bien l'entrée de l'Europe dans l'espace, par le moyen d'organismes de coopération, a-t-elle eu pour caractéristique d'être initialement limitée à deux secteurs (la science spatiale et les lanceurs lourds) auxquels celui des télécommunications est venu s'ajouter plus tard. Mais dans les trois cas, le nombre, la qualité et les motivations des pays participatants étaient très différents.

LA SCIENCE SPATIALE EUROPEENNE

Dès 1954, le Conseil international des Unions scientifiques (CIUS), organisme non gouvernemental ayant pour objet de coordonner et de faciliter la coopération scientifique dans tous les pays du monde, avait créé un Comité mondial pour la Recherche spatiale (COSPAR). Mais l'activité de ce dernier était limitée par son caractère privé, alors que tous les savants intéressés par la recherche spatiale souhaitaient la constitution d'une véritable organisation internationale, capable de concevoir et de réaliser des programmes d'intérêt commun.

C'est alors qu'en Europe un certain nombre de personnalités scientifiques songèrent à s'inspirer du précédent que constituait l'Organisation européenne de Recherches nucléaires (CERN) créé en 1952 sous le patronage de l'UNESCO en vue de favoriser le progrès des sciences nucléaires.

Agissant à titre personnel, ces personnalités, qui avaient participé à la fondation du CERN et s'étaient retrouvées au sein du COSPAR, se réunirent à partir de 1959 dans un 'Groupe d'études européennes pour la recherche spatiale' (GEERS) destiné à préparer les voies pour un établissement plus officiel. Les travaux de ce



Sir Harrie Massey à la tribune de la Conférence de Meyrin (décembre 1960).

groupe bénéficièrent de l'appui du gouvernement français et aboutirent, à la fin de l'année 1960 à la convocation d'une conférence intergouvernementale qui se tint à Meyrin, près de Genève, localité où se trouve installé le CERN, lequel offrit ainsi son patronage aux débuts de l'entreprise. Le 1er décembre 1960 fut signé un protocole créant la Commission préparatoire européenne de Recherches spatiales (COPERS). Celle-ci était chargée de mettre sur pied un organisme définitif qui prendrait le nom de Conseil européen de Recherches spatiales (CERS/ESRO).
Le protocole de Meyrin, qui fut signé par douze nations, entra en vigueur le 27 février 1961; sa validité était d'une année. Cependant, il se révéla nécessaire de le proroger à plusieurs reprises, ce qui nécessita la signature de quatre protocoles, dont le dernier avait le 31 mars 1964 pour échéance extrême.

Le but de la Commission préparatoire, tel qu'il découlait de l'article 1er de l'Accord de Meyrin, était d'étudier les possibilités de créer une Organisation européenne de coopération dans le domaine des recherches spatiales. En conséquence, et dès sa mise sur pied, la COPERS entreprit et mena à bien la rédaction de la Convention créant l'ESRO, qui fut signée à Paris le 14 juin 1962 par les pays membres de la COPERS – à l'exception de l'Autriche et de la Norvège.

D'autre part, le premier protocole de prorogation signé le 21 février 1962 avait chargé la COPERS d'entreprendre des études qui lui seraient assignées par les gouvernements en vue de faciliter ultérieurement la mise en marche de l'organisation mentionnée dans l'Accord. La COPERS se livra donc à des réalisations pratiques, notamment en préparant un programme de travaux portant sur les huit premières années de fonctionnement de l'organisation future.

Elle élabora ainsi un programme scientifique et technique initial ('Livre bleu'), mit au point un certain nombre de projets d'expériences scientifiques (portant sur huit fusées-sondes et deux petits satellites), prépara les premiers lancements et commença la construction de ses établissements.



Signature du protocole de l'ESRO par le Ministre J. Luns, réprésentant des Pays-Bas (au centre, avec à sa droite le Professeur P. Auger et le Dr. A. Hocker).

Le 20 mars 1964, la Convention ESRO entra en vigueur; le 23 mars, la Commission préparatoire se réunit pour la dernière fois à Paris et le Conseil de l'ESRO tint aussitôt sa première réunion. Le Professeur Pierre Auger (France), déjà élu comme Secrétaire exécutif de la COPERS, fut désigné, par un vote unanime du Conseil, pour être le Directeur général de l'Organisation pendant la première période de trois ans.

LES LANCEURS LOURDS EUROPEENS

Au moment où prenait ainsi corps la première organisation européenne de recherches spatiales, le Royaume-Uni se voyait contraint de renoncer au projet 'Bleu-Streak' qui tendait à réaliser une arme de dissuasion basée sur un engin balistique sol-sol. Mais des sommes considérables avaient été investies pour la réalisation de cet engin, qui était techniquement satisfaisant et l'idée était venue au gouvernement britannique de l'utiliser à des fins civiles, pour la recherche spatiale.

Tir d'Europa I F6/2 à Woomera, Australie (5 décembre 1967).



De son côté, la France était sur le point de terminer la fabrication d'un engin 'Véronique' pouvant servir à lancer des satellites légers, et qui, ajouté au 'Blue-Streak', pouvait devenir le deuxième étage d'un lanceur de satellites lourds.

C'est ainsi que le Royaume-Uni et la France s'entendirent pour offrir aux nations industrielles de l'Europe, au cours d'une Conférence tenue à Strasbourg, en février 1961, de s'associer en vue de construire un lance-satellite de trois étages, capable de mettre en orbite une charge de l'ordre de la tonne.

Une conférence diplomatique se réunit à Londres au mois de novembre 1961 et aboutit à la rédaction d'une Convention portant création d'un Conseil européen pour la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux (CECLES/ELDO), qui fut signée à Londres le 29 mars 1962 par six pays européens: la République fédérale d'Allemagne, la Belgique, la France, l'Italie, les Pays-Bas, le Royaume-Uni et par un pays non européen, l'Australie, lequel était lié au Royaume-Uni par un accord sur la mise à disposition de la base d'essais de Woomera. Le Danemark, qui avait suivi les négociations sans signer la Convention, obtint le statut d'observateur.

Les mêmes gouvernements signèrent à Londres, le 9 mai 1962, un protocole établissant un groupe préparatoire en vue de la création de l'Organisation. En attendant l'entrée en vigueur de la Convention, ce groupe préparatoire fut chargé d'entreprendre un certain nombre de tâches préliminaires.

A la différence de la COPERS, le Groupe préparatoire ELDO n'avait pas pour mission de rédiger la Convention mais était surtout chargé de commencer, sans attendre la réunion des conditions juridiques nécessaires à la création de l'organisation, tous les travaux prévus au programme défini par la Convention. Il était seulement précisé que pendant cette période les travaux étaient exécutés aux frais des gouvernements intéressés et à leurs risques et périls.

Cette période préparatoire prit fin le 29 février 1964, et un délai de transition de deux mois expirant le 1er mai 1964 permit la mise en place définitive des institutions. Le groupe préparatoire se réunit pour la dernière fois le 30 avril et le



Le Ministre T. Lefèvre (à droite) en compagnie de l'Ambassadeur R. di Carrobio, Secrétaire général de l'ELDO (1968).

Conseil tint sa première réunion le 5 mai 1964. L'Ambassadeur R. di Carrobio, déjà Secrétaire général du groupe préparatoire, fut désigné par un vote unanime pour être le Secrétaire général de l'ELDO.

LES TELECOMMUNICATIONS PAR SATELLITES

C'est le projet de création par les Etats-Unis d'une organisation mondiale de télécommunications – INTELSAT – qui, à partir de 1962 conduisit les pays européens à ajouter aux organismes proprement spatiaux en voie de constitution, une structure supplémentaire spécialisée dans les télécommunications par satellites. Après la création de la COMSAT aux Etats-Unis par le 'Communication Satellite Act' du 31 août 1962, une initiative de la France aboutit à la réunion à Paris, en mai 1963, d'une Conférence européenne pour les Télécommunications par satellites (CETS). Son objet était d'établir une politique commune des pays de l'Europe au cours des négociations qui étaient sur le point de s'engager, non seulement avec les Etats-Unis mais aussi avec tous les autres pays membres de la Conférence européenne des Postes et Télécommunications (CEPT), pays qui allaient devenir, en août 1964, les signataires de l'accord de Washington.

Aucun acte juridique n'institutionnalisa cette conférence qui manifesta à ses débuts une grande activité, puisqu'elle tint plusieurs assemblées plénières à Paris (mai 1963), Londres (juillet 1963), Rome (octobre 1963 puis mars et juin 1964). En août 1964 furent signés les accords de Washington créant INTELSAT intérimaire, organisation dans laquelle la COMSAT, société américaine, jouait un rôle prépondérant. Pendant la période précédant cette signature, l'activité de la CETS fut principalement consacrée à la coordination de l'attitude des pays européens dans la négociation en cours. Il faut souligner que la Conférence fit, à ce moment, la preuve de son utilité, puisque les intérêts des pays européens furent défendus par un porte-parole unique.

Les organisations spatiales européennes (1964–75)

Comme on vient de le voir, les démarches préliminaires à la mise sur pied des organisations spatiales européennes ont demandé deux années environ, délai qui n'apparaît pas comme exagéré en matière de création d'organisations internationales; au surplus un travail très important avait été accompli dans l'attente de l'entrée en vigueur des deux Conventions, ce qui permit à l'ESRO et à l'ELDO d'aborder sans plus attendre les tâches qui leur étaient respectivement confiées.

Si, sur le plan institutionnel, ces deux organisations étaient bâties selon le schéma classique et si leurs Conventions étaient tout à fait dans la ligne du droit diplomatique le plus traditionnel, elles n'en présentaient pas moins un certain nombre de particularités qui ont, dès le début, pesé sur leurs activités. De ce fait, la réalisation de leurs programmes respectifs a suscité des difficultés qui ont parfois débouché sur des crises graves. Pendant la période 1964–1971, ces problèmes ont pu trouver une solution de façon interne à chaque organisation, la volonté de les coordonner (tant entre elles qu'avec la CETS), au sein de la Conférence spatiale européenne, n'ayant pas encore atteint sa pleine expression.

LES ACTIVITES DE L'ESRO



La Convention

Aux termes de la Convention ESRO, le but de l'Organisation était d'assurer et de développer, à des fins exclusivement pacifiques, la collaboration entre Etats européens dans le domaine de la recherche et de la technologie spatiales. Etaient membres de l'ESRO: la République fédérale d'Allemagne, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la France, l'Italie, les Pays-Bas, le Royaume-Uni, la Suède et la Suisse. L'Autriche et la Norvège bénéficiaient d'un statut d'observateur ainsi que, plus tard, l'Irlande.

Le siège de l'Organisation était à Paris et fut établi d'abord dans les locaux mis à disposition par le Ministère français des Affaires étrangères, puis en 1967 dans des locaux loués à Neuilly-sur-Seine et dans lesquels se trouvait aussi le Secrétariat de l'ELDO. Divers établissements devaient être créés dans les Etats membres et des stations de poursuite devaient être implantées dans diverses parties du monde, selon les besoins des programmes de satellites.

Le programme initial de l'ESRO

Selon la Convention, le programme de l'Organisation devait comporter le lancement de:

- fusées-sondes,
- petits satellites en orbites proches de la Terre et petites sondes spatiales,
- gros satellites et grosses sondes spatiales.

Une somme de 306 millions de dollars US était initialement mise à la disposition de

l'Organisation pour une première période de huit ans, et il était prévu que le programme serait réajusté périodiquement en fonction des progrès de la science, des possibilités financières et, naturellement, des considérations d'ordre pratique telles que la possibilité de disposer de sites de lancement, de lanceurs et de moyens d'observation.



'Lancement' de l'Esrange (Kiruna, Suède) par le Dr. B. Hultqvist (1966).

C'est dans ces conditions que le Conseil approuva en juillet 1965 un programme révisé comportant, pendant la période de huit ans allant de 1964 à 1972, le lancement:
- d'environ 300 fusées-sondes,
- de deux séries de petits satellites en orbites proches de la Terre,
- de grands satellites astronomiques.

Ce plan laissait donc de côté, pour le moment, les sondes spatiales. La nature des expériences à effectuer au cours de ces divers lancements devait être décidée par les organes de l'ESRO (Comité scientifique et technique, Conseil) sur la proposition des personnalités et groupes scientifiques des Etats membres. Les appareils embarqués dans les fusées-sondes seraient, selon le cas, fournis par l'auteur de l'expérience, ou fabriqués par l'Organisation. Celle-ci fabriquerait elle-même les satellites. En ce qui concerne les lanceurs, ils seraient achetés à l'extérieur, auprès des Etats-Unis ou de l'autre organisation européenne de l'espace, l'ELDO.

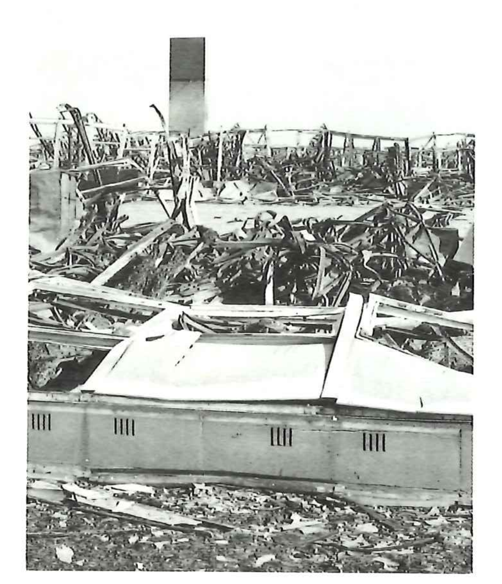
Les dépenses, tant d'investissement que de fonctionnement faisaient l'objet d'un budget annuel, voté à la majorité des 2/3 des Etats membres par le Conseil de l'Organisation; le budget était alimenté par les contributions des Etats membres, basées sur le revenu national.

Les réalisations

Les quatre premières années d'existence de l'ESRO furent consacrées essentiellement à la mise sur pied des services et installations qui constituaient les moyens de base permettant à l'Organisation de faire face à ses objectifs. Le personnel fut



La base de l'Esrange en 1968.



Après l'incendie qui ravagea les installations en 'préfab' de l'ESTEC en 1966.

recruté et formé. Les établissements furent construits et entrèrent en fonctionnement à partir de 1966:

- l'ESRANGE, base de lancement de fusées-sondes à Kiruna (Suède),
- l'ESDAC/ESOC, centre de calcul et de contrôle, à Darmstadt (Allemagne),
- l'ESRIN, laboratoire de physique spatiale à Frascati (Italie),
- l'ESTEC, centre technique à Noordwijk (Pays-Bas).

Enfin le réseau de poursuite et de télémesure (ESTRACK) fut mis progressivement en service (station du Spitzberg, de Fairbanks en Alaska et des îles Falkland dans l'hémisphère sud, et station de Redu en Belgique).

A la fin de 1968, l'ESRO comptait à son actif le lancement d'une centaine de fusées-sondes et la mise en orbite de trois satellites scientifiques européens, lancés par des lanceurs américains:

- ESRO-2, le 17 mai 1968,
- ESRO-1, le 3 octobre 1968,
- HEOS-1, le 5 décembre 1968.

Les crises

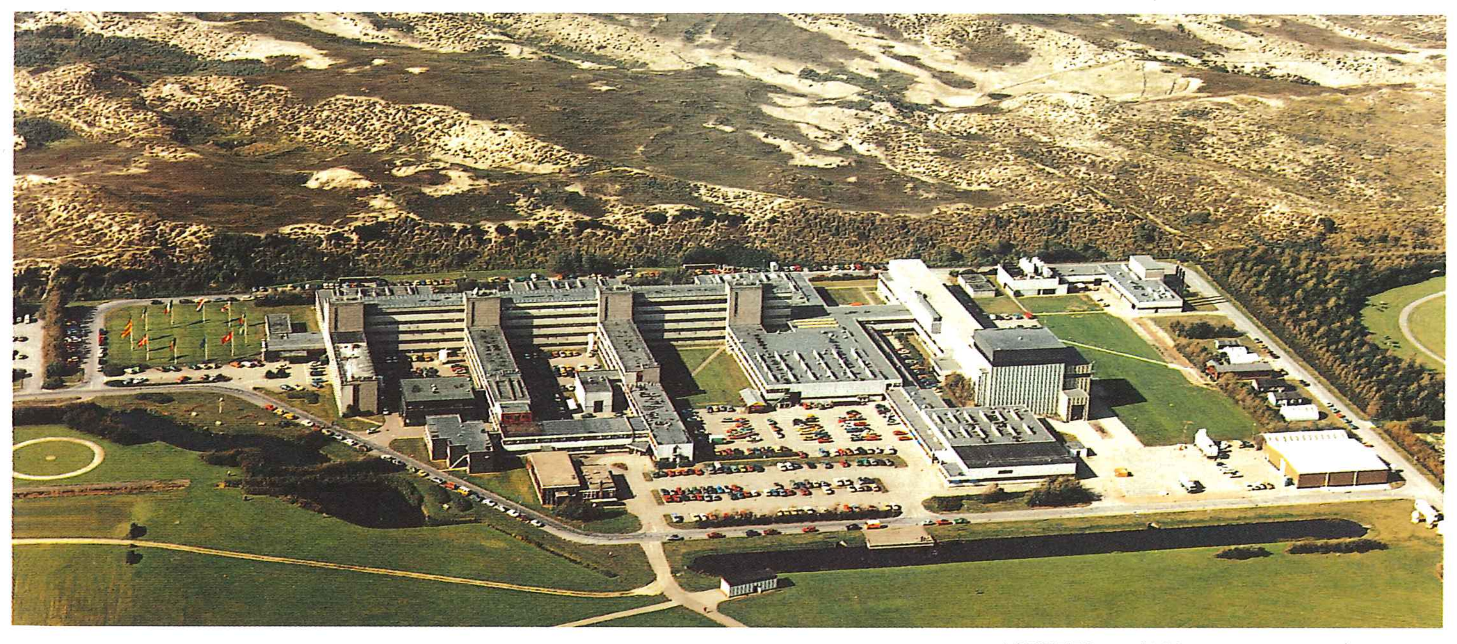
Mais c'est pendant la même période que commencèrent à apparaître les premières manifestations des crises successives que l'ESRO allait avoir à traverser.

Si l'ESRO avait atteint rapidement sa maturité sur le plan technique et scientifique, il n'en était pas moins vrai que l'enveloppe financière fixée en 1963 pour l'exécution d'un programme global réparti sur huit ans devait très rapidement se révéler trop étroite.

En fait, l'Organisation avait conservé une très grande partie de ses premiers budgets annuels à la construction de ses établissements et à divers autres investissements. D'autre part, il apparut que, faute d'une expérience suffisante, les prévisions relatives à la construction des grands satellites avaient été largement sous évaluées. Il en résulta que deux missions importantes – un grand



S.A.R. la Princesse (aujourd'hui Reine) Beatrix des Pays-Bas lors de la cérémonie d'inauguration de l'ESTEC en 1968.



L'ESTEC en 1980.

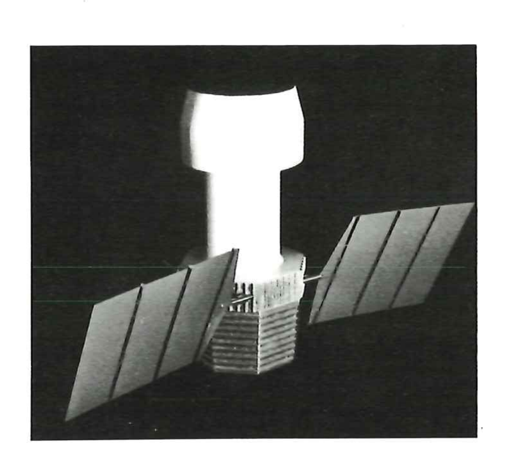
observatoire astronomique en orbite (LAS) et une mission cométaire – durent être abandonnées. Dans le domaine des satellites moyens, il s'avéra que la réalisation envisagée d'un projet de deux plates-formes normalisées (TD-1 et TD-2) ne pourrait se faire dans les conditions prévues, le coût de ces deux satellites étant trop élevé par rapport aux moyens financiers disponibles. Certains Etats membres ayant alors refusé de contribuer à la poursuite du projet, il fut décidé par le Conseil en 1968 d'une part de réduire ce projet en supprimant TD-2, d'autre part de faire du satellite maintenu, TD-1 – comme le permettait la Convention – un 'projet spécial', étant donné que l'Italie refusait d'y participer.

Un autre problème fut soulevé par la demande, présentée par l'Espagne, d'une réduction de sa contribution, en raison de la situation économique, demande qui fut acceptée par le Conseil en 1967.

La difficulté la plus importante sur le plan financier vint du fait que, dès 1967, et à plusieurs reprises, le Conseil ne fut pas en mesure d'adopter à l'unanimité, comme le prévoyait la Convention, le niveau triennal des ressources. Le palliatif qui fut alors trouvé consista à demander au Conseil d'adopter, à l'unanimité, chacun des budgets annuels successifs, alors que la majorité des 2/3 aurait dû suffire si ce niveau triennal avait été approuvé.

Ces différents événements, et quelques autres ayant fait ressortir la nécessité d'améliorer la gestion administrative et financière de l'ESRO, le Conseil chargea un groupe d'experts présidé par M. J.H. Bannier (Pays-Bas), de formuler une proposition sur une réorganisation de la structure de l'Organisation, de ses procédures et de ses méthodes de travail. A la suite du dépôt en avril 1967 du rapport de ce Comité, plusieurs réformes furent progressivement introduites.

Toutefois, c'est un problème beaucoup plus fondamental qui devait se poser dans le courant de l'année 1970 avec le désir, exprimé par certains Etats membres, de ne pas limiter les activités de l'ESRO à la seule réalisation des satellites



Un modèle du Grand satellite astronomique (LAS) — projet abandonné dans les années 60 pour raison de coût.

scientifiques et d'y ajouter celle de satellites d'application. Cette question se posait depuis quelque temps déjà dans le cadre de la Conférence spatiale européenne (CSE) qui s'était créée en 1967. Compte tenu des progrès accomplis, notamment aux Etats-Unis, dans le domaine des satellites de météorologie et de télécommunication, plusieurs Etats membres estimaient que l'Organisation devait se doter très rapidement des moyens institutionnels afin d'engager l'Europe dans la même voie. Au cours de sa session du 22 décembre 1970, le Conseil décida de charger son Président de discuter, avec les Etats membres, des mesures à prendre à cet effet. Au même moment, le Danemark et la France annonçait leur désir de dénoncer la Convention.

A l'issue de sa mission, le Président du Conseil put faire adopter à l'unanimité, le 20 décembre 1971, par le Conseil, une Résolution prenant acte du désir des Etats membres d'utiliser le cadre de l'ESRO pour réaliser des satellites d'application et de donner à ceux-ci une nette prépondérance par rapport aux activités de caractère purement scientifique (science spatiale, fusées-sondes, satellites scientifiques). Cette réorientation appelait une révision complète de la Convention notamment en vue de permettre aux Etats membres de participer aux seuls programmes d'application qu'ils estimaient intéressants pour eux et dont chacun constituerait un 'projet spécial'.

En novembre 1972, le Conseil approuva les amendements à la Convention qui lui étaient proposés sur le rapport d'un groupe de travail créé à cet effet, et les dénonciations de la Convention par la France et le Danemark furent retirées. Cependant, les développements survenus dans le cadre de la CSE et notamment la décision de principe prise en décembre 1972 de créer une Agence spatiale européenne, eurent pour conséquence d'interrompre le processus de ratification des amendements à la Convention ESRO par les Etats membres. Le travail accompli ne fut toutefois pas inutile, puisque c'est cette Convention ESRO révisée qui devait plus tard servir de base à la rédaction de la Convention de l'Agence spatiale européenne.

Les nouveaux programmes de l'ESRO après 1971

La nouvelle orientation de l'ESRO, telle qu'elle résultait de la Résolution adoptée par le Conseil le 20 décembre 1971 peut être ainsi résumée:

- le programme scientifique obligatoire se continuait sur une base réduite (nouveau satellite tous les deux ans environ) et dans la limite annuelle de 27 millions de dollars US pendant la période 1972–74. De ce fait, le programme de fusées-sondes cessait de faire partie du programme obligatoire;
- la base de lancement de fusées-sondes (Esrange) était reprise par le gouvernement suédois et l'Institut de recherche fondamentale (ESRIN) était affecté à d'autres activités (documentation);
- des programmes de satellites d'application devaient être entrepris dans la limite annuelle de 70 millions de dollars US pendant la période 1974–80. Trois programmes de satellites d'application (Aerosat pour la navigation aérienne; Météosat pour la météorologie; OTS pour les télécommunications) étaient d'ores et déjà approuvés;
- les activités de base, comprenant en particulier les frais communs fixes et

un programme de technologie, devaient rester contenues dans la limite annuelle de 10 millions de dollar US;
- la politique de l'ESRO en matière de lanceurs devrait tenir compte des capacités développées en Europe;
- l'Organisation recevait un rôle de coordination et de concertation pour l'ensemble des programmes spatiaux des Etats membres.

Une nouvelle étape de la vie de l'ESRO fut franchie lorsque la Conférence spatiale européenne décida le 31 juillet 1973, d'entreprendre trois nouveaux programmes européens: le laboratoire spatial (Spacelab) qui représentait la participation européenne au programme américain post-Apollo, le lanceur Ariane qui se substituait au projet de lanceur européen Europa III et le satellite de navigation maritime (Marots).

Cet accroissement des activités de l'Organisation (il s'agissait en fait d'un doublement de son budget) s'effectuait dans le même cadre juridique provisoire que les programmes décidés le 20 décembre 1971.

Tous ces programmes étaient en cours de réalisation lorsque l'Agence spatiale européenne commença 'de facto' à fonctionner le 30 mai 1975 en s'appuyant sur la Convention, les moyens et le personnel de l'ESRO.

Quant au programme scientifique, il a comporté entre 1968 et 1975, le lancement des satellites scientifiques suivants:
- HEOS-2, le 31 janvier 1972,
- TD-1, le 12 mars 1972,
- ESRO-4, le 22 novembre 1972,
- Cos-B, le 9 août 1975.

LES ACTIVITES DE L'ELDO



La Convention

Aux termes de la Convention ELDO, le but de l'Organisation était la mise au point et la construction de lanceurs d'engins spatiaux et de leurs équipements appropriés. Il était précisé que l'activité de l'Organisation ne porterait que sur les utilisations pacifiques de ces lanceurs et de leurs équipements, ainsi que sur leur livraison aux utilisateurs éventuels.

Etaient membres de l'ELDO: la République fédérale d'Allemagne, l'Australie, la Belgique, la France, l'Italie, les Pays-Bas et le Royaume-Uni. Le Danemark et la Suisse bénéficiaient du statut d'observateurs au Conseil.

Le siège de l'Organisation était installé à Paris dans les locaux également occupés par le Secrétariat de l'ESRO. Un certain nombre d'installations nationales étaient mises à la disposition de l'ELDO par ses Etats membres et notamment le champ de tir de Woomera en Australie jusqu'à ce que l'ELDO décida, en 1966, de

Le bâtiment de Neuilly qui abrita les sièges de l'ESRO et de l'ELDO jusqu'au début des années 70.



construire sa propre base de lancement dans le cadre du Centre spatial guyanais de la France situé à Kourou.

Les programmes

L'une des caractéristiques de l'ELDO était que cette organisation, dont l'objet était la réalisation de lanceurs d'engins spatiaux en général, avait été constituée avant tout pour exécuter un programme défini au préalable sur les plans technique et financier par les gouvernements fondateurs et devant être exécuté selon des modalités de gestion convenues à l'avance, toutes conditions qui étaient inscrites dans la Convention ou ses protocoles annexes. L'exécution par la suite d'autres programmes n'était pas écartée 'a priori', mais n'était organisée que de façon très générale par la Convention, qui renvoyait les modalités de préparation, de décision et de réalisation d'éventuels programmes ultérieurs à des accords à négocier entre les Etats membres et à décider par le Conseil.

Le programme initial

La raison d'être de la création de l'ELDO était donc l'exécution d'un 'programme initial' consistant à construire un lanceur lourd d'engins spatiaux, selon les responsabilités distribuées entre les Etats membres par la Convention et par un protocole annexe et dans les limites financières prises par un autre protocole. Aux termes de la Convention elle-même, l'Organisation entreprendrait comme programme initial, l'étude, la mise au point et la construction d'un lanceur d'engins spatiaux utilisant comme premier étage la fusée 'Blue-Streak' et comme deuxième étage une fusée française dénommée 'Coralie'. Le protocole annexe concernant certaines responsabilités à l'égard du programme initial complétait cet article en confiant l'étude, la mise au point et la construction:

- du troisième étage du lanceur à la République fédérale d'Allemagne,
- de la première série de satellites expérimentaux y compris l'équipement électronique qu'ils contenaient, à l'Italie,

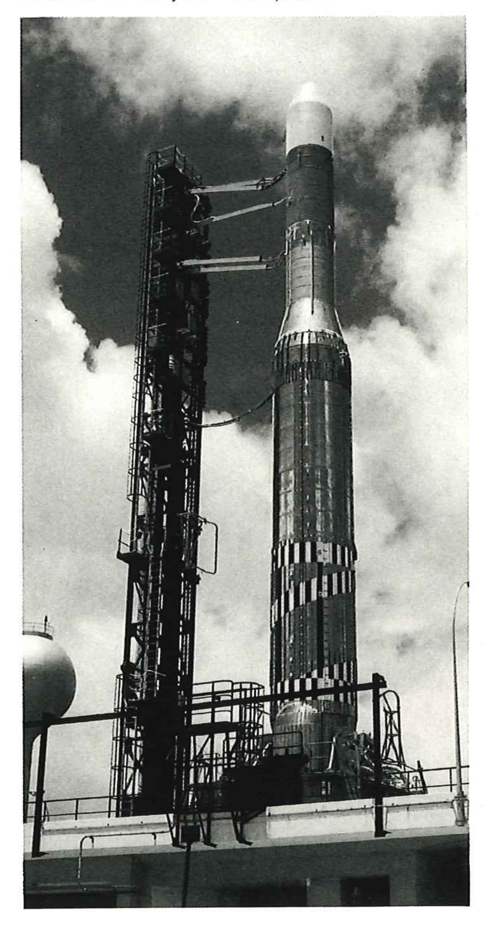
- de l'équipement des stations terrestres de guidage intermédiaire, à la Belgique,
- des liaisons de télémesure à longue portée, ainsi que de l'équipement sol associé, aux Pays-Bas.

La Convention ajoutait que les essais de tir pour la mise au point du 1er étage et du lanceur complet auraient lieu à Woomera (Australie); le lieu des essais de tir du second et du troisième étages serait fixé ultérieurement en fonction des 'conditions économiques et techniques'.

Les prévisions effectuées lors de la création de l'Organisation permettaient d'escompter que le lanceur du programme initial baptisé Europa I, serait capable de lancer une charge utile d'une tonne sur une orbite circulaire de 500 km d'altitude, ce qui l'aurait classé dans la catégorie des lanceurs lourds. Le coût de la construction du lanceur était évalué à 70 millions de Livres sterling (soit environ 210 millions de dollars US aux conditions économiques de 1962), répartis sur une durée de cinq années.

Les dépenses de l'ELDO étaient effectuées conformément à un budget annuel approuvé par le Conseil à la majorité des deux tiers des voix de tous les Etats membres comprenant les votes affirmatifs d'Etats membres dont la contribution s'élevait à 85% au moins des contributions apportées à l'Organisation. Pendant toute la durée du programme, ces contributions étaient calculées conformément à un barème annexé au protocole financier signé le 29 mars 1962 et dont on retiendra d'une part qu'il donnait une part prépondérante au Royaume-Uni (38,79% contre 22,01% à l'Allemagne et 23,93% à la France) et d'autre part que la contribution de l'Australie consistait à mettre le champ de tir de Woomera à la disposition de l'Organisation, sans versement en espèces.

Europa II sur la base de lancement à Kourou en Guyane française.



Les programmes ultérieurs

La Convention prévoyait que, dès sa création, l'Organisation poursuivrait l'étude des possibilités futures et des besoins en matière de champs de tir; un budget de 6 millions de dollars US était prévu pour cette étude qui devait comporter des recherches expérimentales. A l'expiration d'une période de deux années, le Conseil devait être saisi d'un rapport lui permettant d'envisager alors quel nouveau programme devait être entrepris et quelle était l'orientation à donner au programme initial, compte tenu des progrès déjà réalisés et de l'état de la science.

Les décisions à prendre par le Conseil sur la réalisation éventuelle des programmes ultérieurs étaient caractérisées par le fait que tout Etat membre avait la faculté, sans perdre sa qualité, de se déclarer 'non intéressé' à un programme déterminé. Bien entendu, seuls les Etats intéressés avaient alors le droit de fixer les règles relatives aux programmes auxquels ils participaient, et ils étaient tenus d'y contribuer dans la mesure qu'ils avaient eux-mêmes fixée.

L'exécution des programmes

Presqu'aussitôt après l'entrée en vigueur de la Convention créant l'ELDO, le devis initial de la construction du lanceur Europa I qui, par la force des choses, était évidemment fort approximatif du point de vue technique et financier, se révélait insuffisant tandis que le calendrier des travaux glissait considérablement. Une

conférence ministérielle, réunie en 1966, décidait de réorienter le programme vers la construction d'un lanceur plus puissant, Europa II, susceptible de placer en orbite des satellites géostationnaires d'une masse de 200 kg environ, ce qui paraissait mieux devoir répondre aux besoins européens futurs, notamment dans le domaine des télécommunications. Un supplément important était, en conséquence, accordé au financement de ce lanceur, le devis initial étant porté à 626 millions de dollars US. Mais, dès 1969, il se revélait indispensable de prévoir une nouvelle augmentation de ce devis à la suite des difficultés techniques, rencontrées au cours des premiers tirs d'essai, qui avaient entraîné une escalade des coûts et une prolongation des délais. Un nouveau supplément, d'un montant de 15 million de dollars US, était décidé en novembre 1970 mais il n'était plus financé que par l'Allemagne, la Belgique et la France.

L'échec du tir F 11 en novembre 1971 contraignait les Etats membres à prendre conscience de la nécessité de revoir totalement les méthodes de gestion du programme, en particulier en ce qui concerne les pouvoirs du Secrétariat par rapport aux industriels et aux Etats membres et des mesures de réorganisation étaient décidées et appliquées dans le courant de l'année 1972.

Les déboires techniques et financiers des programmes Europa I et II ne furent évidemment pas été étrangers, à côté d'autres facteurs, ceux-là purement politiques, au fait que, plus le temps passait, moins certains pays européens continuaient à croire à la nécessité de construire des lanceurs pour l'usage propre de l'Europe. C'est pourquoi le nouveau projet de lanceur Europa III – destiné avant tout au futur satellite européen de télécommunications – bien qu'étudié dans le plus grand détail à partir de 1968, avec le souci de tenir compte de l'expérience passée, ne put dépasser la phase des études et du prédéveloppement. La décision de ne pas réaliser Europa III fut prise à la suite de l'accord de principe intervenu dans le cadre de la Conférence spatiale européenne, à Bruxelles le 20 décembre 1972 sur un programme spatial global dont l'un des volets était constitué par le développement 'dans un cadre européen' – en l'espèce celui de l'ESRO – mais sous la responsabilité technique et financière d'un seul pays – la France – d'un lanceur lourd, appelé depuis lors 'Ariane'.

Laisser l'Organisation poursuivre le seul programme Europa II, n'avait, dès lors, pas beaucoup de sens, et le Conseil de l'ELDO décidait de l'arrêter à son tour le 1er mai 1973. Privé, de ce fait, des deux programmes qui constituaient sa raison d'être, l'ELDO était mis en liquidation de fait. Toutefois sa Convention n'a formellement cessé d'être en vigueur qu'en octobre 1980, date d'entrée en vigueur de la Convention de l'ESA.

LES ACTIVITES DE LA CETS

La période 1964–71 fut consacrée à la négociation des accords qui, signés le 20 août 1971 et entrés en vigueur le 12 février 1973 créèrent INTELSAT sous sa forme définitive. Pendant cette période, la CETS continua ses activités en adoptant une position 'européenne'.

L'idée avait été émise après 1964, que l'adoption d'un programme européen de satellites de télécommunications justifierait et renforcerait la solidarité de l'Europe



La Conférence spatiale européenne de Bad Godesberg en 1968: (1) M. T. Lefèvre, Ministre d'Etat de la Politique et de la Programmation scientifique de Belgique; (2) M. A. Wedgwood Benn, Ministre de la Technologie du Royaume-Uni; (3) Dr G. Stoltenberg, Ministre fédéral de la Recherche scientifique, Allemagne; (4) Prof. M. Pedini, Secrétaire d'Etat chargé de la Recherche scientifique, Italie.

face à ses partenaires d'INTELSAT, compte tenu du monopole technique des Etats-Unis et de leur prédominance au sein de l'organisation intérimaire.

La Conférence de la CETS réunie à Bonn en octobre 1964 entérina cette idée fondamentale. Une autre réunion de la CETS tenue à La Haye en novembre 1966 chargea l'ESRO d'effectuer une étude technique détaillée du projet, en collaboration avec l'ELDO en ce qui concernait le lanceur. Parallèlement, plusieurs comités de la CETS elle-même examinèrent les incidences institutionnelles, techniques et économiques de ce projet.

Toutefois les répercussions des divers éléments du problème sur les autres institutions européennes amenèrent finalement la CSE, lors de sa réunion d'octobre 1968 à Bad Godesberg, à décider de décharger la CETS de la question du programme européen de satellites de télécommunications qui serait désormais traitée par l'ESRO et l'ELDO en coopération avec la Conférence européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) et l'Union européenne de Radiodiffusion (UER).

En conséquence, la CETS, ayant perdu sa double raison d'être, cessa totalement ses activités en 1970.

La recherche d'une solution globale (1972–75)

C'est à l'occasion de la première Conférence des Ministres de l'ELDO, réunie le 8 juillet 1966, que l'idée d'une coordination étroite et effective de l'activité des trois organisations spatiales européennes était indispensable, fut exprimée sous la forme d'une proposition tendant à créer une Conférence spatiale européenne. La Conférence des Ministres adopta également une Résolution consacrée à la coordination de la politique spatiale en Europe et prévoyant des mesures destinées à réaliser, de façon progressive, une harmonisation de l'action des organismes européens de coopération spatiale.

Sur la base de ces décisions, les travaux préparatoires à la convocation d'une Conférence regroupant les ministres chargés des questions spatiales de tous les pays européens, furent entrepris aussitôt. Et une fois obtenu l'accord nécessaire

du Conseil de l'ESRO et de la CETS, la première Conférence spatiale européenne put se tenir à Paris le 13 décembre 1966.

Outre les membres fondateurs, c'est-à-dire les sept pays de l'ELDO, le Danemark et l'Espagne participaient à la Conférence tandis que l'Autriche, la Grèce, l'Irlande, la Suède et la Suisse y assistaient comme observateurs. Dans la Résolution qu'elle adopta, la Conférence spatiale européenne reconnut la nécessité de coordonner de façon efficace l'usage des ressources dont disposaient les Etats européens pour la recherche scientifique et technologique dans le domaine spatial. Sur le plan pratique, la Conférence décida de se doter des organes propres à remplir ses objectifs, à savoir: un Comité de Suppléants, un groupe de travail sur les programmes, ayant pour but l'établissement d'un inventaire des programmes, des ressources et des moyens de l'Europe dans le domaine spatial, et un Comité chargé d'examiner les conditions juridiques selon lesquelles la Conférence pourrait s'institutionnaliser.

Des délais relativement courts ayant été impartis pour l'exécution des études demandées, la deuxième réunion de la Conférence spatiale européenne put avoir lieu dès les 11, 12 et 13 juillet 1967 à Rome. Cette fois, tous les pays membres de l'ESRO et de l'ELDO y participaient, ainsi que la Norvège et le Vatican en tant que membres de la CETS. A ces 13 pays membres s'ajoutaient des observateurs de l'Autriche, du Canada, de la Grèce, de l'Irlande, de Monaco et du Portugal. La Conférence adopta quatre Résolutions dont les deux plus importantes concernaient respectivement:

- les questions institutionnelles: il était décidé que la CSE deviendrait un organe permanent et qu'elle se réunirait au moins une fois par an, au niveau ministériel en vue d'élaborer une politique spatiale européenne coordonnée et de veiller à son exécution;
- la préparation d'un programme spatial européen: il était décidé de créer un comité consultatif des programmes chargé d'approfondir l'oeuvre du groupe de travail créé en décembre 1966, et de formuler avant la réunion suivante de la CSE des propositions précises en vue de l'établissement d'une politique spatiale européenne coordonnée.

Les comités de la CSE et les conférences ministérielles elles-mêmes, au cours de plusieurs réunions infructueuses à Bad Godesberg (novembre 1968) puis à Bruxelles (juillet et novembre 1970), n'ont pu s'entendre sur un programme européen d'ensemble, à cause des désaccords sur les lanceurs, les satellites d'applications et l'attitude de l'Europe vis-à-vis de l'offre faite par les Etats-Unis de participer au programme 'post-Apollo'. L'impasse sembla même être totale pendant l'année 1971 mais l'accord intervenu dans le cadre de l'ESRO le 20 décembre 1971 sur la question des satellites d'application fut le signe que la situation allait enfin pouvoir se débloquer. Précédée d'un intense travail de préparation et présidée par deux réunions officieuses, la réunion ministérielle tenue à Bruxelles le 20 décembre 1972 permit enfin d'obtenir un accord unanime sur la solution de toutes les questions en suspens.

En premier lieu, la CSE décida que le projet de laboratoire spatial Spacelab (représentant la contribution européenne au programme post-Apollo), un projet

de lanceur européen (se substituant au projet Europa III, étudié par l'ELDO), ainsi qu'un projet de satellite de navigation maritime Marots, seraient entrepris, poursuivis et gérés dans un cadre européen commun.

Par ailleurs la CSE prit la décision ferme de fusionner l'ESRO et l'ELDO dans une seule et même 'Agence spatiale européenne', qui aurait en outre pour rôle d'intégrer les programmes spatiaux nationaux et européens dans l'avenir.

Une nouvelle réunion de la CSE, tenue à Bruxelles en deux sessions (12 et 31 juillet 1973) permit finalement d'obtenir un accord général sur la question du programme, accord qui dut d'ailleurs attendre jusqu'au 20 septembre 1973 sa mise au point définitive.

Quelques jours plus tard, le 24 septembre 1973, l'accord entre les Etats-Unis et l'Europe sur la réalisation du Spacelab fut solennellement signé à Washington. Les autres accords entre pays européens et relatifs aux nouveaux programmes de l'ESRO – y compris celui sur la réalisation du lanceur européen Ariane – furent à leur tour signés dans les mois suivants.

Quant au projet de création d'une Agence spatiale européenne, basé sur le texte de la Convention révisée de l'ESRO, il était longuement étudié et discuté avant d'être soumis le 15 avril 1975 à une dernière réunion ministérielle de la Conférence spatiale européenne qui l'acceptait et demandait au gouvernement français de convoquer une Conférence des Plénipotentiaires pour la signature de la Convention.



La Conférence spatiale européenne de Bruxelles en 1975.



Création de l'Agence spatiale européenne

L'aboutissement de longs efforts déployés pendant près de dix ans dans le cadre de la Conférence spatiale européenne a donc été la réunion à Paris, le 30 mai 1975, d'une Conférence des Plénipotentiaires pour la signature de la Convention portant création d'une Agence spatiale européenne. Ont assisté à cette Conférence tous les pays membres de l'ESRO et de l'ELDO, la CETS ayant cessé ses activités. Toutefois, l'Australie, membre de l'ELDO, déclara ne pas vouloir signer la Convention, tandis que l'Irlande, qui n'appartenait à aucune des deux organisations, demandait, au contraire, à le faire. Ce sont en définitive 11 pays qui ont signé la Convention, soit le jour même de la Conférence du 30 mai 1975, date à laquelle la Convention était ouverte à la signature (Allemagne, Belgique, Danemark, Espagne, France, Italie, Pays-Bas, Royaume-Uni, Suède et Suisse), soit le 31 décembre 1975, date limite convenue (Irlande). A ces 11 pays qui sont Etats membres de l'ESA, il convient d'ajouter deux pays qui ont par la suite obtenu le statut de membre associé prévu par la Convention, à savoir l'Autriche (depuis octobre 1979) et la Norvège (en octobre 1981), ainsi que le Canada qui est lié à l'Agence par un accord particulier de coopération signé en décembre 1981.

La volonté exprimée par la Conférence spatiale européenne que l'Agence puisse commencer à fonctionner 'de facto' avant la ratification de la Convention qui la créait, fut mise en oeuvre par une Résolution du Conseil de l'ESRO en date du 15

avril 1975 en vertu de laquelle cette organisation devait prendre le titre d''Agence spatiale européenne' dès le lendemain de la signature de la Convention. De même, le Directeur général de l'ESRO, M. Roy Gibson, était désigné pour devenir le premier Directeur général de l'ESA. Enfin, une Résolution de la Conférence des Plénipotentiaires recommanda que les dispositions de la nouvelle Convention soient prises en considération dans toute la mesure du possible, c'est-à-dire chaque fois qu'elles n'étaient pas en contradiction avec le texte de la Convention ESRO, qui demeurait la base juridique du fonctionnement 'de facto' de l'Agence.

Les mesures destinées à assurer le fonctionnement 'de facto' de l'Agence spatiale européenne devinrent ainsi applicables le 31 mai 1975; elles se révélèrent d'autant plus opportunes que le processus de ratification, qui demande habituellement deux ou trois ans, fut, dans ce cas particulier, beaucoup plus long en raison de l'attitude de certains gouvernements signataires qui liaient leur ratification à la solution de problèmes extérieurs au fonctionnement de l'Agence proprement dite. Ce n'est finalement que le 30 octobre 1980, date de dépôt du dernier instrument de ratification, que la Convention portant création de l'Agence spatiale européenne est entrée en vigueur mettant un point final sur le plan juridique à une période de transition qui avait duré plus de cinq ans.

La Convention du 30 mai 1975 qui régit les activités de l'Agence spatiale europééenne se présente au premier abord comme un texte classique et l'organisation qu'elle institue, bien qu'étant de caractère scientifique et technique, est construite sur le modèle habituel des organisations internationales.

L'Agence comporte, en effet, un Conseil composé de représentants des Etats membres, qui en est l'organe politique et législatif, et un Directeur général assisté d'un personnel international qui en est l'organe exécutif. L'Agence a la personnalité juridique et bénéficie des privilèges et immunités habituels qui sont décrits dans une Annexe à la Convention. Sa gestion financière obéit à un certain nombre de règles qui sont également mentionnées dans une Annexe.

En outre, la Convention comprend des articles consacrés à la question des échanges d'informations, de personnels et à la coopération internationale. Ce que l'on doit surtout retenir de cette Convention, ce sont les objectifs que les pays signataires ont poursuivis en la rédigeant: d'abord unifier les institutions spatiales européennes en remplaçant les organisations existantes par une Agence dont le caractère opérationnel est souligné, d'autre part, être le lieu où les Etats membres peuvent se concerter pour définir un programme communautaire et pour veiller à son exécution.

On peut résumer les innovations introduites par la Convention de l'ESA par rapport à la Convention de l'ESRO en disant que le nouveau texte:

- étend les missions dévolues à l'Agence,
- élargit considérablement le domaine de ses activités,
- met l'accent sur l'orientation des activités de l'Agence dans le domaine des applications spatiales,
- tend à valoriser les efforts accomplis en commun,
- modifie les structures de décision.

Le dernier point mérite d'être particulièrement souligné. En effet, la prédominance



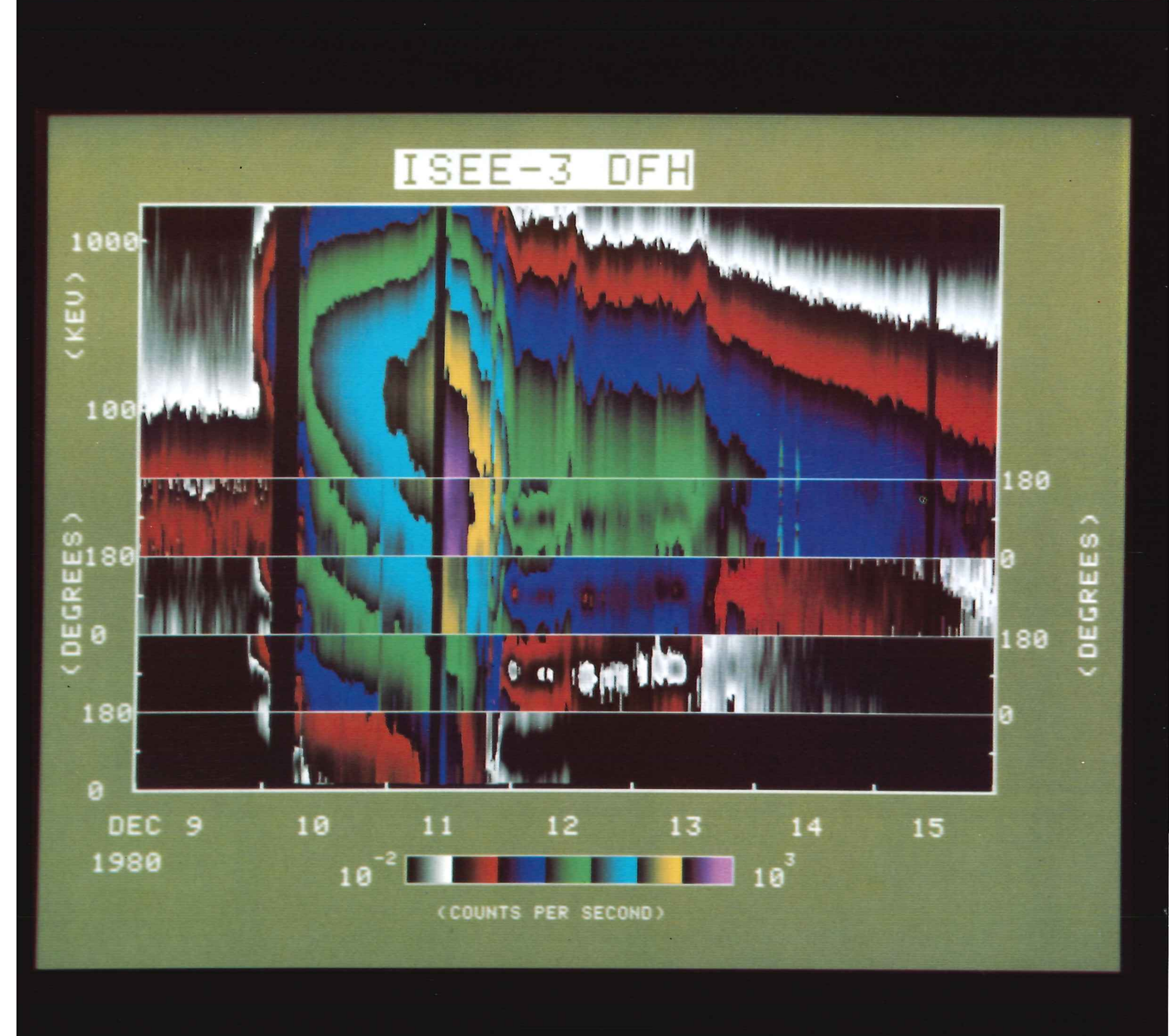
Le siège de l'ESA à Paris (1983).

du Conseil, organe politique souverain, est affirmée. Elle se manifeste notamment par la possibilité, pour le Conseil, de tenir des réunions au niveau ministériel, qui remplaceront les réunions ministérielles de la Conférence spatiale européenne. En outre, le Conseil est le seul organe de l'ESA mentionné dans la Convention, à l'exception toutefois d'un Conseil du Programme scientifique qui lui est subordonné et dont la référence tend à souligner l'importance de ce programme dans la vie de l'Agence. La Convention ne prévoit donc pas l'existence, pour chaque programme, de Conseils directeurs, similaires à ceux qu'instituent les Arrangements actuellement en vigueur. Toutefois, le Conseil pourra, s'il le juge utile, créer des organes subordonnés pour un certain nombre de programmes d'applications, ainsi que dans tout autre domaine et, notamment, en matière d'administration, de finances et de politique industrielle.

Conclusion

Tels sont les traits saillants de la Convention portant création de l'Agence spatiale européenne. Continuant l'oeuvre entreprise par ses devancières, l'organisation nouvelle reçoit, en outre, une mission qui couvre désormais l'ensemble des activités spatiales et qui lui permet d'être l'instrument de l'exécution de la politique spatiale européenne, définie et exécutée dans son cadre, par les pays qui en sont membres.

2



ISEE-3 DFH
1000
100
(KEV)
(DEGREES)
180
0
180
0
180
180
0
(DEGREES)
DEC 9
10
11
12
13
14
15
1980
10^{-2}
10^{3}
(COUNTS PER SECOND)

Les réalisations scientifiques

C'est en grande partie sous l'impulsion de la communauté scientifique qu'est né l'ESRO en 1964. En dehors du défi technologique et de l'aventure que représentent les voyages dans l'espace, les chercheurs avaient des raisons scientifiques impérieuses de vouloir placer leurs ensembles expérimentaux sur des véhicules spatiaux. L'ESA peut aujourd'hui se prévaloir avec fierté de treize missions consécutives réussies de satellites scientifiques, d'ESRO-2 en 1968 à Exosat en 1983 (Tableau 1). S'il serait absurde de prétendre que l'effort global de l'Agence dans le domaine des sciences spatiales a suivi le même rythme que celui des superpuissances, il y a des domaines où elle peut revendiquer à bon droit une place de premier plan.

Les instruments dont les scientifiques ont besoin pour aller dans l'espace se rangent dans trois catégories principales. Il y a d'abord ceux qui sont destinés à des mesures 'in situ', comme par exemple les magnétomètres en orbite dans la magnétosphère d'une planète ou les détecteurs de plasma surveillant le vent solaire dans l'espace interplanétaire. Il y a ensuite les télescopes et autres instruments de télédétection captant et analysant le rayonnement d'étoiles lointaines dont une grande partie, située à des longueurs d'onde auxquelles l'atmosphère de la Terre n'est pas transparente, se trouve interceptée avant d'avoir pu atteindre le sol. Enfin, il y a les instruments destinés à tirer parti des conditions d'apesanteur ou, plus exactement, de microgravité qui règnent dans l'espace. L'ESA vient de se lancer dans l'utilisation de tels instruments avec le vol de Spacelab.

Dans les pages qui suivent sont décrites de nombreuses réalisations des scientifiques européens à l'aide des satellites de l'ESRO et de l'ESA. Il était inévitable que dans un rapport tel que celui-ci de nombreuses réalisations tout aussi méritoires soient passées sous silence. Pour juger du profit que les scientifiques ont retiré des données obtenues, il n'est que de voir le nombre de publications figurant au Tableau 2.

Spectre et anisotropies des protons mesurés par ISEE-3 dans la gamme d'énergie 35–1600 keV lors du passage d'un choc interplanétaire le 11 décembre 1980. La bande supérieure de l'image montre l'intensité moyenne en fonction de l'énergie; les quatre bandes inférieures donnent, de haut en bas, l'intensité en fonction des angles d'attaque pour les voies 35–56 keV, 91–147 keV, 238–383 keV et 620–1000 keV.

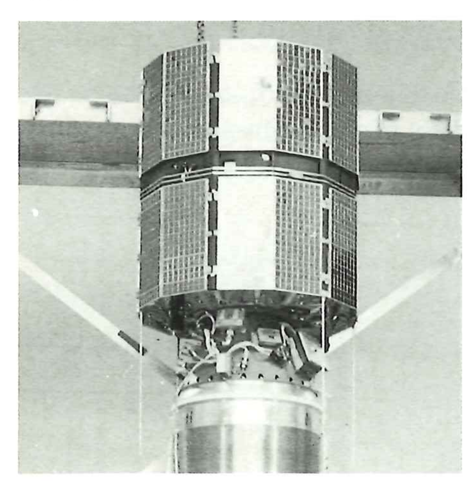
Premières missions au voisinage de la Terre

Les deux premiers satellites de l'Organisation européenne de Recherches spatiales (ESRO), lancés gratuitement par la NASA en 1968, furent mis sur des orbites polaires à 1500 km maximum au-dessus de la surface du globe.

ESRO-2 étudia les rayons X solaires, divers aspects du rayonnement cosmique et les populations de particules chargées dans les ceintures de rayonnement de la Terre, découvertes quelque dix ans plus tôt par Van Allen.

ESRO-1A observa les zones aurorales (ceintures situées à des latitudes géomagnétiques de l'ordre de 65° à 75°), étudiant comment les aurores boréales changent de position sous l'effet des variations de l'activité géomagnétique et solaire. Des mesures directes furent faites sur les particules chargées de forte énergie qui plongent de la magnétosphère supérieure de la Terre dans l'atmosphère, faisant émettre à celle-ci les lumières colorées et changeantes dont l'observation a fasciné pendant des siècles l'homme rivé au sol. En même temps une sonde ionique montée sur le satellite surveillait le comportement de la haute atmosphère chargée (l'ionosphère) qui agit si spectaculairement sur les radiocommunications.

ESRO-2



Un trait positif de ces premières missions – et qui s'est heureusement retrouvé dans la plupart des missions ultérieures de l'ESA – était l'empressement des expérimentateurs à échanger des informations avec leurs collègues sur le même satellite ou sur d'autres satellites. Cet échange d'informations a grandement facilité l'étude de la façon dont les particules solaires pénètrent la barrière formée par le champ magnétique terrestre, et les résultats obtenus à cet égard sont peut-être les plus dignes de mention.

Des mesures effectuées à partir du sol avaient établi il y a longtemps que c'est au-dessus des calottes polaires que les rayons cosmiques et les particules solaires chargées peuvent le plus facilement atteindre la Terre. En effet, dans ces régions, les particules ne rencontrent aucun obstacle car leur direction d'arrivée suit les

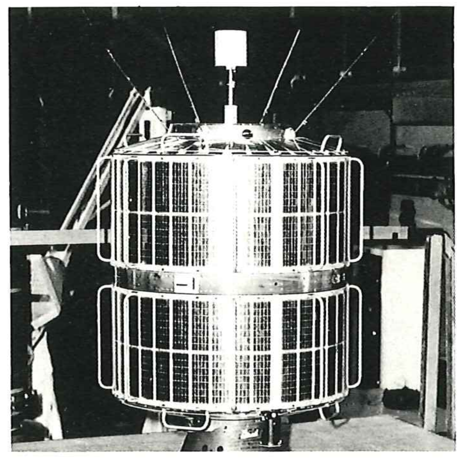
Tableau 1: Les satellites scientifiques de l'ESRO et de l'ESA de 1968 à 1983

Satellites	Lancement	Fin de vie utile	Mission
ESRO-2	17 mai 1968	9 mai 1971	Rayons cosmiques, rayons X solaires
ESRO-1A	3 october 1968	26 juin 1970	Phénomènes auroraux et ionosphère
HEOS-1	5 décembre 1968	28 octobre 1975	Milieu interplanétaire, front de choc
ESRO-1B	1 octobre 1969	23 novembre 1969	Comme ESRO-1A
HEOS-2	31 janvier 1972	2 août 1974	Magnétosphère polaire, milieu interplanétaire
TD-1	12 mars 1972	4 mai 1974	Astronomie UV, X et gamma
ESRO-4	26 novembre 1972	15 avril 1974	Atmosphère neutre, ionosphère, particules aurorales
Cos-B	9 août 1975	25 avril 1982	Astronomie gamma
Geos-1	20 avril 1977	23 juin 1978	Dynamique de la magnétosphère
ISEE-2	22 octobre 1977		Relations Soleil/Terre et magnétosphère
IUE	26 janvier 1978		Astronomie UV
Geos-2	24 juillet 1978		Champs magnétosphériques, ondes et particules
Exosat	26 mai 1983		Astronomie en rayonnement X

Tableau 2: Publications sur les satellites scientifiques ESRO/ESA (situation à la mi-1982).

Satellite	Nombre de publications
ESRO II	45
ESRO 1A & 1B	131
HEOS-1	112
HEOS-2	122
TD-1	195
ESRO-4	105
Cos-B	115
Geos 1 & 2	175
IUE	306
ISEE	303

lignes du champ magnétique du dipôle terrestre. En revanche, près de l'équateur, les particules incidentes doivent franchir le champ magnétique, et seules les plus énergétiques d'entre elles peuvent en fait atteindre la Terre. Les mesures d'ESRO-2 et d'ESRO-1 ont montré que le tableau était plus compliqué qu'on ne le pensait auparavant. Il a été constaté, par exemple, qu'une calotte polaire n'était souvent pas éclairée de manière uniforme par les particules solaires incidentes et que dans certains cas une calotte polaire 'voyait' des particules et l'autre non. Heureusement le satellite HEOS-1 devint également disponible à la fin de 1968 et permit des mesures simultanées du champ magnétique interplanétaire ainsi que de la direction d'arrivée et de l'énergie des particules en chemin vers la Terre. Les trajets empruntés par les particules à travers la magnétosphère terrestre vers ESRO-1 et ESRO-2 purent alors être déterminés. En fait les particules se sont avérées d'excellents révélateurs de la structure magnétosphérique et des conditions dans lesquelles le champ magnétique interplanétaire est capable de se joindre au champ magnétique terrestre pour permettre le passage des particules. Il était à l'époque d'intérêt majeur d'établir la possibilité d'une telle combinaison de champs magnétiques et de découvrir comment la magnétosphère prend forme à la suite de cette combinaison. ESRO-1 et ESRO-2, bien qu'ils n'aient pas fourni des mesures inédites, n'ont pas peu contribué à la solution de ce jeu de patience.



ESRO-1B

Un second exemplaire d'ESRO-1 (baptisé **ESRO-1B**) fut satellisé sur orbite basse à la fin de 1969 afin de compléter les mesures de son prédécesseur. Ce fut l'un des premiers couples de satellites expérimentés dans la magnétosphère, précédant de huit ans la beaucoup plus complexe mission ISEE. Deux satellites permettent de déterminer si des variations observées sont de nature spatiale ou temporelle. Un résultat intéressant suivit l'enregistrement de particules solaires arrivant sur la calotte polaire nord en novembre 1969. La figure 1 montre que, bien qu'ESRO-1A

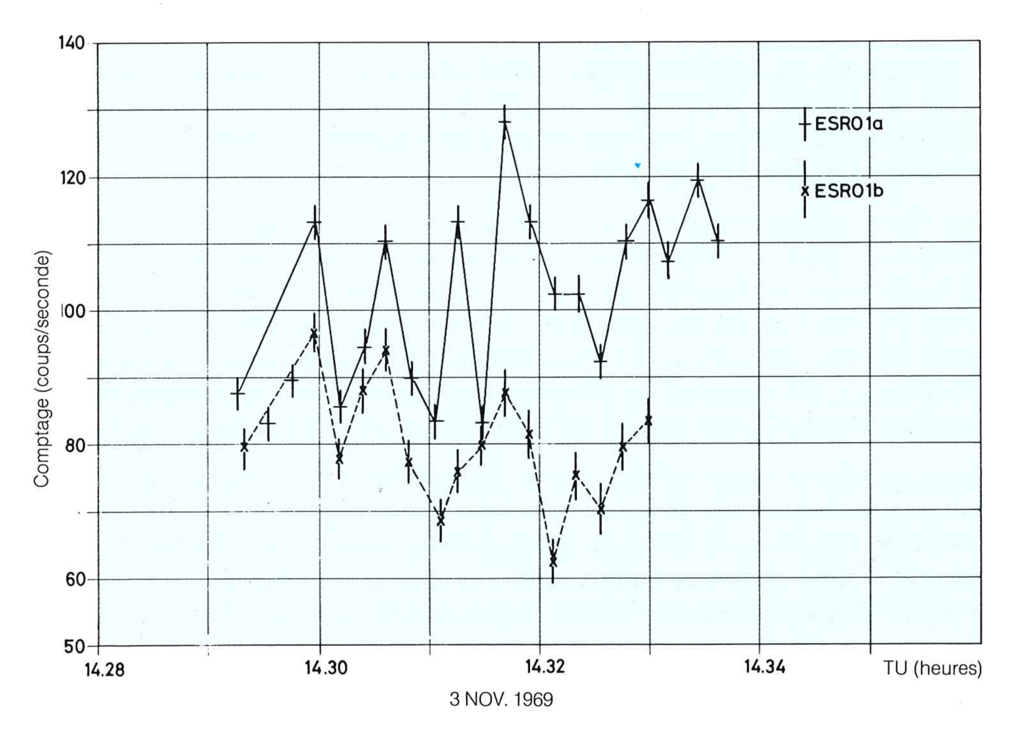


Figure 1: Taux de comptage d'ESRO-1A et 1B enregistré au-dessus la calotte polaire nord le 3 novembre 1969. On notera la concordance de phases entre les deux courbes en dépit de la distance de plusieurs centaines de kilomètres qui séparait les deux satellites.

et 1B fussent distants de plusieurs centaines de kilomètres, ils ont observé des variations périodiques en phase du flux de particules.

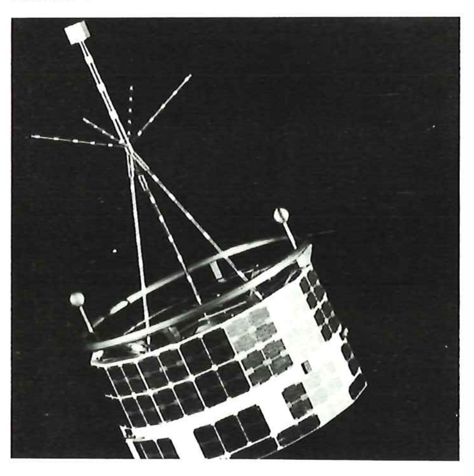
Premières incursions au-delà de la magnétosphère terrestre

La figure 2 représente la magnétosphère terrestre. Le plasma du vent solaire chargé électriquement rabat vers de la Terre le champ magnétique dipolaire du côté jour et en même temps étire en une longue queue le champ côté nuit. Lorsque le vent solaire change, la magnétosphère change elle aussi. ESRO-1 et ESRO-2, en orbite près de la Terre, avaient étudié ces réactions magnétosphériques. Il était clair que l'ESRO gagnerait beaucoup à pouvoir disposer d'un satellite sur orbite très excentrique allant jusque dans l'espace interplanétaire pour surveiller le vent solaire et les variations correspondantes du champ magnétique interplanétaire. Ainsi **HEOS-1** vit-il le jour pour être lancé en décembre 1968 sur une orbite hautement excentrique qui le porta à une distance de 37 rayons terrestres (37 × 6500 km) de notre globe, jusque dans le vent solaire.

Le satellite et son appareillage scientifique fonctionnèrent à merveille pendant 7 ans. La longue suite de données recueillies à cette occasion permit pour la première fois une étude fiable de la façon dont divers paramètres interplanétaires varient au cours du cycle solaire. Certes des tentatives avaient déjà été faites pour relier entre elles les données de satellites éphémères, mais cette façon de procéder laisse toujours subsister le risque que les instruments ne soient pas exactement les mêmes d'un satellite au suivant et que les variations mesurées soient plus instrumentales que réelles.

Les prouesses du magnétomètre et de celui qui l'a mis au point méritent une mention spéciale. HEOS-1 avait la faculté originale de pouvoir orienter son axe de rotation propre de façon qu'il se trouve soit dans le plan de l'écliptique soit dans un plan perpendiculaire à celui-ci (le plan de l'écliptique est celui dans lequel les planètes tournent autour du Soleil). Cela a permis un étalonnage très précis du magnétomètre, et l'expérimentateur responsable a été en mesure – après un travail considérable et difficile – d'envoyer au Centre Mondial de Données les résultats de sept années d'observation de qualité supérieure qui ont servi de base de référence dans le monde entier.

HEOS-1



Une autre caractéristique – nouvelle à l'époque – consistait en une mémoire embarquée pour le magnétomètre, qui a permis d'analyser des caractères particulièrement intéressants avec une grande finesse de résolution dans le temps. La valeur de ces données était inestimable, par exemple, pour l'étude des ondes de choc. On se rend compte maintenant que l'accélération des particules chargées par les chocs est un phénomène universel et fournit probablement la plus grande partie de son énergie au rayonnement cosmique qui atteint la Terre.

Quelques années avant HEOS-1, il avait été observé que le champ magnétique interplanétaire avait une structure sectorielle, étant dirigé vers le Soleil pendant une partie des 27 jours que dure la rotation du Soleil, et à l'opposé du Soleil pendant le reste du temps. Il apparut que la direction du champ interplanétaire produisait des signatures identifiables dans le champ au niveau du sol et que, par voie de conséquence, cette direction pouvait être déduite des lectures des magnétomètres au sol. Une étude détaillée basée sur les données de HEOS-1

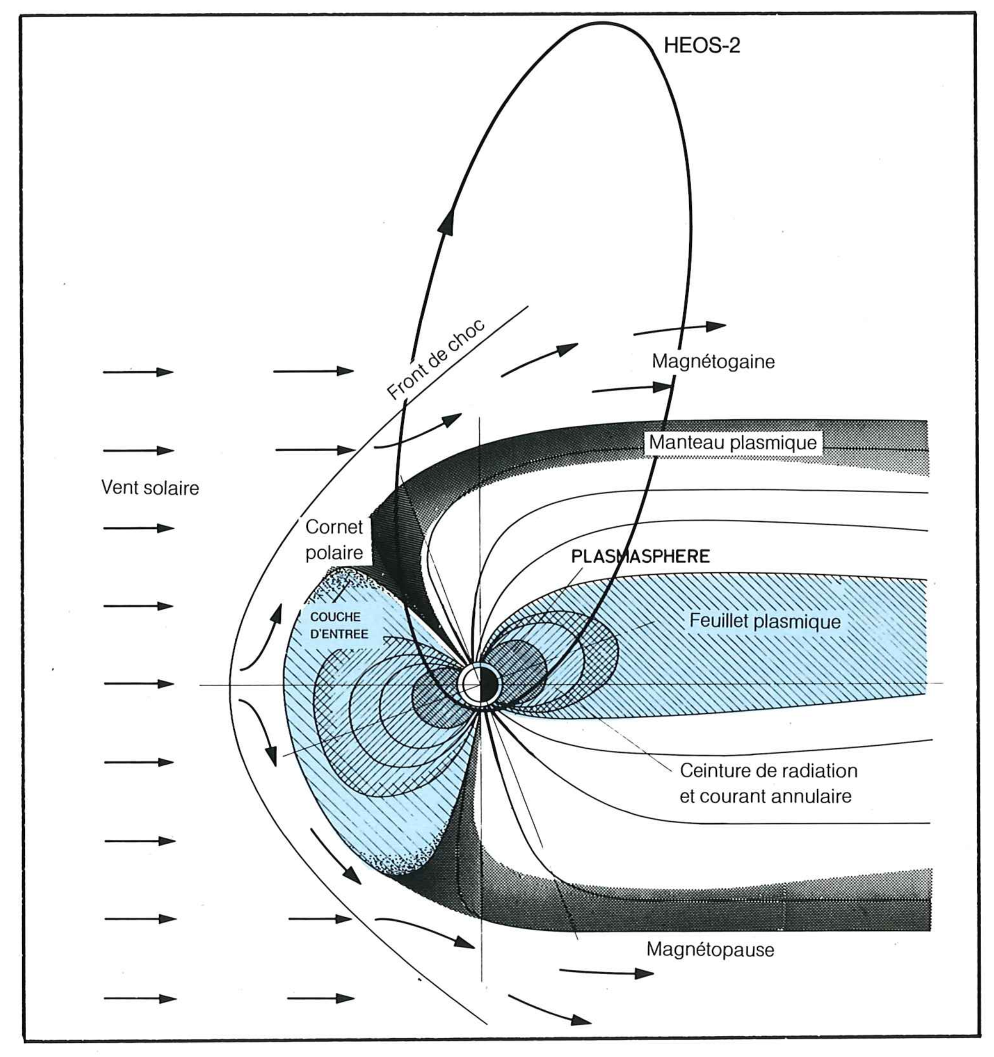


Figure 2: Situation de l'orbite de HEOS-2 par rapport à l'environnement proche de la Terre. On remarquera le 'manteau plasmique' à la lisière de la magnétoqueue et la zone d'entrée aux niveau des cornets polaires.

confirma qu'en effet une telle technique permettait de prévoir le champ interplanétaire plus de 80% du temps.

On savait depuis longtemps que dans les périodes d'activité maximale de son cycle de 11 ans, le Soleil avait pour effet d'exclure du système solaire une fraction considérable du rayonnement cosmique qui arrive à y pénétrer lors du minimum solaire. On pensait que le champ interplanétaire ou les écarts qui s'y produisent devaient obligatoirement varier au cours d'un cycle solaire pour réaliser cette modulation des rayons cosmiques. HEOS-1 a permis de se rendre compte que les variations du champ magnétique au cours d'un cycle solaire dans le plan de l'écliptique étaient absolument insuffisantes pour avoir un tel effet. Il semble par conséquent que les variations sous d'autres latitudes ne peuvent être que très grandes, et par suite les mesures fournies par la 'Mission internationale d'étude des pôles du Soleil' sont attendues avec encore plus d'impatience.

La Terre offre une barrière au vent solaire supersonique et il en résulte une onde de choc, tout à fait de la même façon qu'un avion volant plus vite que le son engendre une onde de choc (le fameux 'bang' supersonique) dans l'atmosphère.

Les expérimentateurs du plasma ont fait des progrès importants dans la description des types de chocs qui se produisent sous l'effet des paramètres magnétiques et plasmatiques existant à un moment donné.
Aucune description de HEOS-1 ne serait complète si l'on ne faisait pas mention de l'expérience qui consista à éjecter une cartouche de baryum à 75 000 km de la Terre afin de suivre à la trace les champs existant dans cette région.

La première incursion d'un véhicule spatial de l'ESRO au-delà de la magnétosphère fut en vérité un grand succès.
En regardant la figure 2 on voit qu'aux hautes latitudes il y a des rebroussements dans la configuration du champ magnétique qui entoure la Terre. D'après la théorie il devrait y avoir des régions de champ magnétique nul en ces points. Une nouvelle série d'appareillages scientifiques fut embarquée sur la structure HEOS de base pour monter la seconde mission d'exploration (**HEOS-2**) hors de la magnétosphère afin d'observer ces régions inexplorées et les frontières adjacentes.

On ne découvrit aucun point où le champ magnétique était exactement égal à zéro, mais les études de circulation du plasma permirent bien d'identifier la région cuspidée polaire comme étant la 'porte d'entrée' des particules chargées vers la Terre. Une découverte totalement inattendue fut celle de l'existence au-delà de cette région d'un 'manteau de plasma' recouvrant la queue magnétosphérique. Cette couche varie en épaisseur avec les conditions régnant dans l'espace interplanétaire mais est constamment présente et se compose en général de plasma s'éloignant de la Terre à des vitesses de l'ordre de 100 km/s.
Une autre surprise encore fut la découverte d'une couche d'électrons possédant des énergies de l'ordre du million d'électrons-volts juste en dehors du manteau de

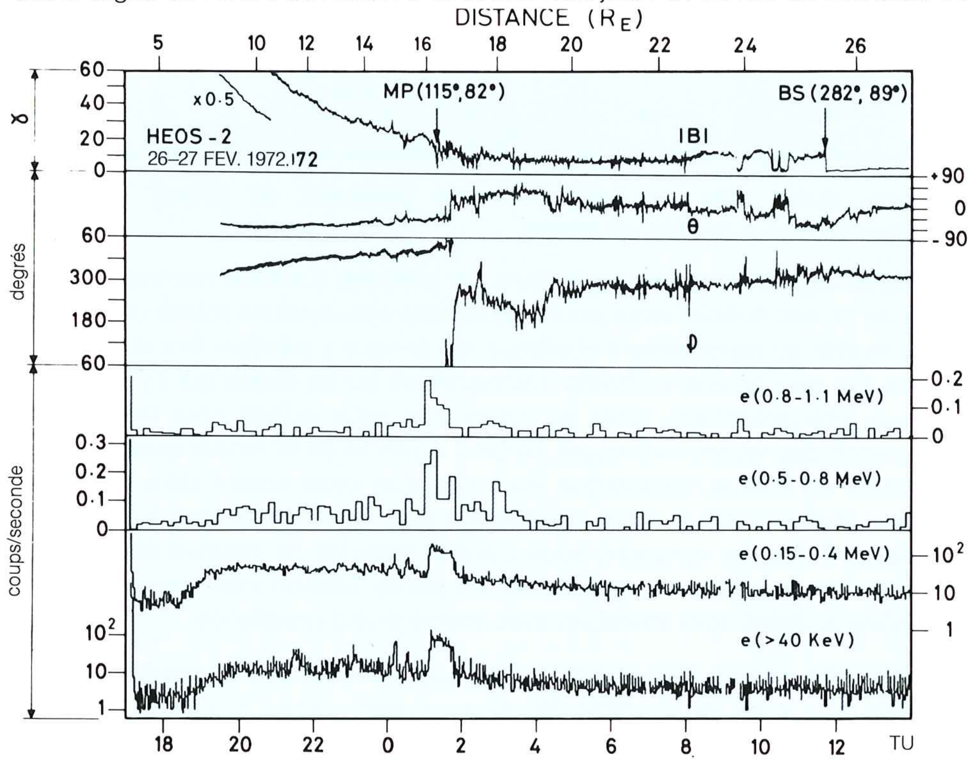


Figure 3: Les composants du champ magnétique (trois bandes du haut) et les flux d'électrons (trois bandes du bas) au moment où HEOS-2 quittait la magnétosphère polaire le 27 février 1972. On notera la couche d'électrons de grande énergie rencontrée dans la magnétopause entre 01 et 02 heure TU.

plasma (figure 3). Ces électrons semblent prendre naissance près des cornets polaires et augmenter nettement en nombre lorsque l'activité géomagnétique est grande. Comme l'énergie du vent solaire n'est généralement que de quelques électrons-volts, il faut admettre qu'un processus quelconque, au voisinage de la Terre, est capable d'accélérer les électrons pour leur communiquer des énergies des millions de fois plus grandes que celles qu'ils avaient au départ.

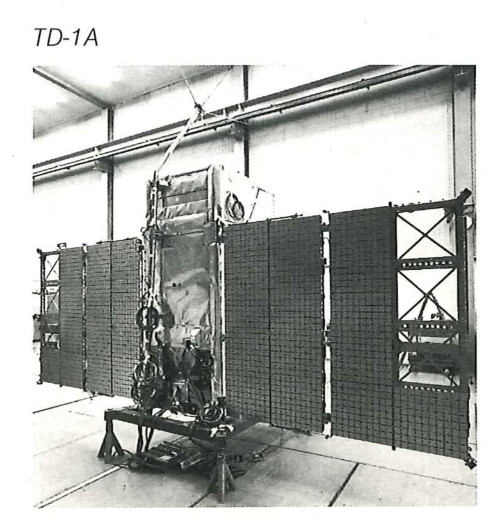
Pendant le temps où HEOS-2 était proche de son apogée dans le vent solaire, il fut possible de tirer pleinement parti de l'analyseur de plasma extrêmement perfectionné qui se trouvait à son bord. Une résolution tridimensionnelle de la direction de circulation et de la vitesse du plasma permirent l'étude de micro-instabilités dans le plasma. Le grand pouvoir séparateur de l'instrument et une nouvelle technique d'évaluation des données donnèrent pour la première fois la possibilité de déterminer avec précision la concentration de constituants rares du vent solaire tels que l'isotope He^3.
Début août 1972, l'excellent complément instrumental de bord se trouva idéalement placé pour étudier certains des phénomènes interplanétaires et magnétosphériques les plus spectaculaires qui aient jamais été enregistrés à la suite d'une période d'activité majeure du Soleil.

L'envoi par l'ESRO d'un second satellite performant – et peu coûteux – dans une région vierge de l'espace immédiatement au-delà de la magnétosphère polaire nord avait apporté à la fois des surprises et des résultats scientifiques majeurs.

Le premier satellite d'astronomie de l'ESRO

En plaçant des spectrographes derrière leurs télescopes, les astronomes peuvent regarder des objets situés à des distances incroyables et être cependant en mesure de dire non seulement quels sont les matériaux qui s'y trouvent mais aussi à quelle vitesse ces objets se déplacent et quelles sont les températures qui y règnent. De la même façon qu'un prisme décompose la lumière solaire visible en les couleurs de l'arc-en-ciel, un spectrographe décompose la lumière provenant d'une étoile en raies spectrales de diverses longueurs d'onde. Tous les atomes, lorsqu'ils sont excités, émettent de l'énergie, et ils le font de telle sorte que chaque espèce atomique donne un diagramme caractéristique de raies spectrales. Ayant étudié ces diagrammes au laboratoire pendant de nombreuses années, les scientifiques sont capables d'identifier la matière rayonnante – ou suivant le cas, absorbante – des étoiles lointaines. D'après la forme de chacune des raies spectrales et le décalage des raies observées par rapport au diagramme produit par un atome au repos, on sait également déterminer la température et la vitesse des atomes dans un objet astrophysique situé très loin de nous. Des astronomes au sol ont réalisé de telles mesures spectrales pendant de nombreuses années et ont ainsi beaucoup appris. Mais les atomes ne révèlent pas si aisément tous leurs secrets dans la lumière visible qui est à même de pénétrer l'atmosphère terrestre. Un grand nombre des raies spectrales les plus intéressantes doivent en effet être attendues à des longueurs d'onde qui sont arrêtées par l'atmosphère, et l'avènement des vols spatiaux a par conséquent ouvert tout un nouveau domaine à l'astronomie.
Le satellite **TD-1** fut le premier véhicule spatial de l'ESRO à emporter des télescopes au-dessus de l'atmosphère pour observer les étoiles, dont deux

TD-1A



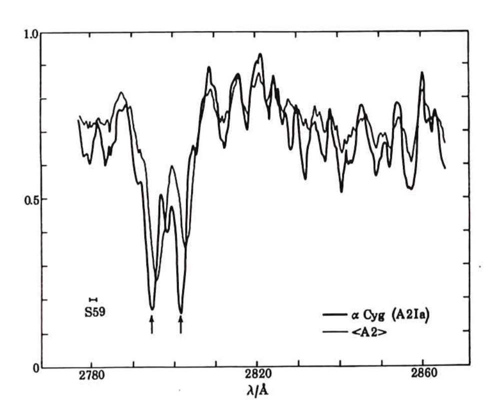


Figure 4: Comparaison des mesures faites par le spectromètre ultraviolet des raies de résonance du magnésium II dans l'étoile 2 Cygni avec les mesures correspondantes sur une étoile moyenne de la classe A-2.

ensembles instrumentaux majeurs enregistrèrent le rayonnement lumineux dans l'ultraviolet. Cette partie du spectre électromagnétique des étoiles fournit des indications sur des processus qui sont en général plus énergétiques que ceux qui produisent un rayonnement en lumière visible. La plus grande partie de l'information provenant des atmosphères stellaires, par exemple, se retrouve dans l'ultraviolet, et le décalage du spectre de raies permet de dire à quelle vitesse l'atmosphère s'éloigne de l'étoile – peut-être de la même façon que le plasma s'éloigne de notre Soleil. L'un des instruments était utilisé à grande ouverture pour explorer le ciel entier tandis que le second procédait à des mesures à haute résolution de raies spectrales de différentes étoiles. Le pouvoir séparateur de 1,8 Å (1 Å = 10^{-8} cm) obtenu à cette époque (1972) représentait un progrès majeur sur tout ce qu'on avait déjà envoyé dans l'espace.

Malgré des défaillances de l'enregistreur magnétique embarqué, il fut possible d'explorer 95% de la sphère céleste en lumière ultraviolette, et des mesures concernant plus de 30 000 étoiles ont ainsi été cataloguées et publiées.

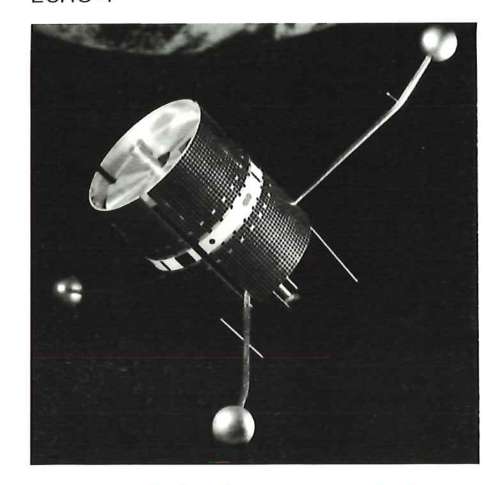
La lumière des étoiles, avant de parvenir à la Terre, doit traverser en chemin une certaine quantité de poussière ou de grains interstellaires. Ce n'est qu'en connaissant la répartition de ces grains et la façon dont ils diffusent les rayons lumineux qu'il est possible de calculer avec précision la nature de la lumière lorsqu'elle quitte l'étoile émettrice. Des progrès importants ont été accomplis dans l'identification des grains et dans le relevé graphique de leur répartition dans la Galaxie.

Pendant de nombreuses années, les astronomes classèrent les étoiles en familles en traçant des courbes de luminosité en fonction de la température. On pouvait ainsi estimer, par exemple, le stade d'évolution atteint par une étoile depuis sa naissance. Mais toutes ces courbes étaient en lumière visible, et les données recueillies dans l'ultraviolet par TD permirent de vérifier si les conclusions tirées des données en lumière visible restaient valables dans des conditions différentes.

La mesure de la forme et de la position des raies spectrales – en particulier les raies de résonance du magnésium (figure 4) – permit d'observer des atmosphères stellaires disparaissant à des vitesses appréciables. Il fut découvert par exemple qu'une étoile supergéante perdait chaque année une masse équivalente à 3×10^{-10} masses solaires.

Une fois de plus, un satellite de l'ESRO avait fait notablement reculer les frontières de la science.

ESRO-4



L'atmosphère neutre de la Terre

Lorsque le satellite d'astronomie TD-1 fut conçu, l'idée se présente que la formule de base retenue pour ce satellite pourrait être utilisé comme 'plate-forme' standard pour des missions ultérieures. Aussi un complément d'expériences fut-il choisi et baptisé TD-2. Les principales expériences de TD-2 étaient orientées vers le Soleil mais quelques autres étaient également prévues – en particulier un spectromètre de masse pour surveiller les constituants de l'atmosphère neutre de la Terre. Le concept de 'plate-forme' standard s'avéra irréaliste et on sauva quelques appareillages de TD-2 pour les embarquer sur un satellite **ESRO-4** beaucoup plus simple, basé sur ESRO-2 dont la formule avait été couronnée de succès.

Le spectromètre de masse pour atomes et molécules neutres d'ESRO-4 obtint en l'espace de 18 mois d'excellentes mesures atmosphériques qui étaient sans équivalent pour les altitudes de 240 à 320 km.

Les expérimentateurs responsables de mesures de masse tirèrent pleinement parti des possibilités offertes, accomplissant une année après l'autre un remarquable effort d'analyse de données. En conséquence, on peut parcourir avec une légitime fierté la littérature scientifique mondiale concernant l'atmosphère terrestre en constatant qu' ESRO-4 figure en bonne place.

Des cartes détaillées de la concentration des gaz atmosphériques (azote, oxygène hélium et argon) au-dessus du globe terrestre et de la façon dont celle-ci varie avec les saisons, ont été produites. Un sujet d'étude particulier était le surplus d'hélium au-dessus du pôle hiver de la Terre et le surplus simultané d'argon, beaucoup plus lourd, au-dessus du pôle été.

Le déplacement des constituants atmosphériques suivant les perturbations ionosphériques et géomagnétiques a fait l'objet de relevés graphiques et des variations avec la longitude ont été établies. On a constaté, par exemple, que le rapport oxygène-azote (O_2/N_2) mesuré par ESRO-4 suivait de très près les variations de la fréquence critique requise pour pénétrer la couche F de l'ionosphère à partir d'émetteurs radio basés au sol (figure 5). Le tableau montrant que les constituants atmosphériques avaient tendance à être mieux ordonnés dans un repère géomagnétique que dans un système de coordonnées géographiques commença à se dessiner, et on fit nettement progresser la compréhension fondamentale des rapports entre le rayonnement solaire et l'environnement magnétique et atmosphérique de la Terre.

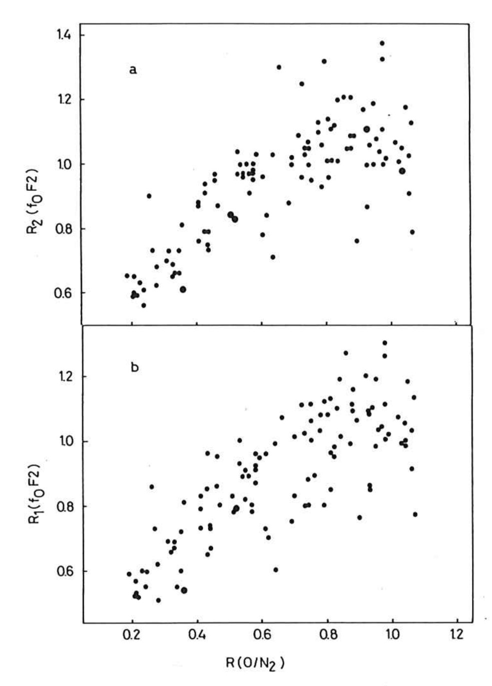


Figure 5: Corrélation entre la fréquence radio critique nécessaire pour percer la couche F de l'ionosphère à partir du sol et le rapport oxygène/azote mesuré simultanément sur ESRO-4.

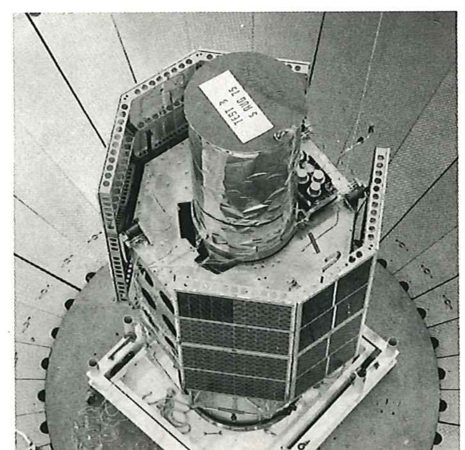
Astronomie UV avec IUE

Les succès obtenus par TD-1 en 1972 dans la résolution des raies spectrales ultraviolettes jusqu'à 1,8 Å furent dépassés par deux des satellites de la NASA quelques années plus tard. L'intérêt des milieux scientifiques internationaux pour des mesures ultraviolettes améliorées fut tel que la NASA, le Royaume-Uni et l'ESA s'associèrent pour construire et exploiter ensemble l''International Ultraviolet Explorer' (**IUE**). Contribution de l'ESA à ce projet: les panneaux solaires du satellite et une station sol à Villafranca, en Espagne.

La mission a été et continue d'être un succès remarquable aussi bien du point de vue réalisation scientifique que du point de vue coopération internationale.

IUE est unique comme satellite d'astronomie en ce sens que, comme son orbite est synchronisée sur la rotation de la Terre, il est constamment visible d'un point ou un autre de l'équateur et se trouve pendant au moins huit heures par jour en vue de la station de Villafranca. Cela permet à des astronomes de se rendre à cette station et, avec l'aide d'astronomes locaux fournis par l'ESA, d'utiliser le télescope du satellite exactement comme dans un observatoire ordinaire. A certains égards, IUE est encore plus commode qu'un observatoire au sol car les méthodes traditionnelles d'enregistrement des images du télescope y sont remplacées par des techniques électroniques à la fois souples et perfectionnées.

IUE



On peut apprécier le succès de la mission et la popularité de la station de

Villafranca en notant que pour 1984 la demande d'utilisation du télescope semble au moins aussi importante que pour n'importe quelle année depuis le lancement en janvier 1978.

Alors que TD-1 avait la capacité de résoudre les raies spectrales jusqu'à 1,8 Å, IUE peut descendre à 0,2 Å, soit près de dix fois mieux, ce qui permet de déchiffrer des configurations, des formes et des décalages de raies qui étaient auparavant hors d'atteinte et de beaucoup mieux deviner ce qui se passe dans les étoiles.

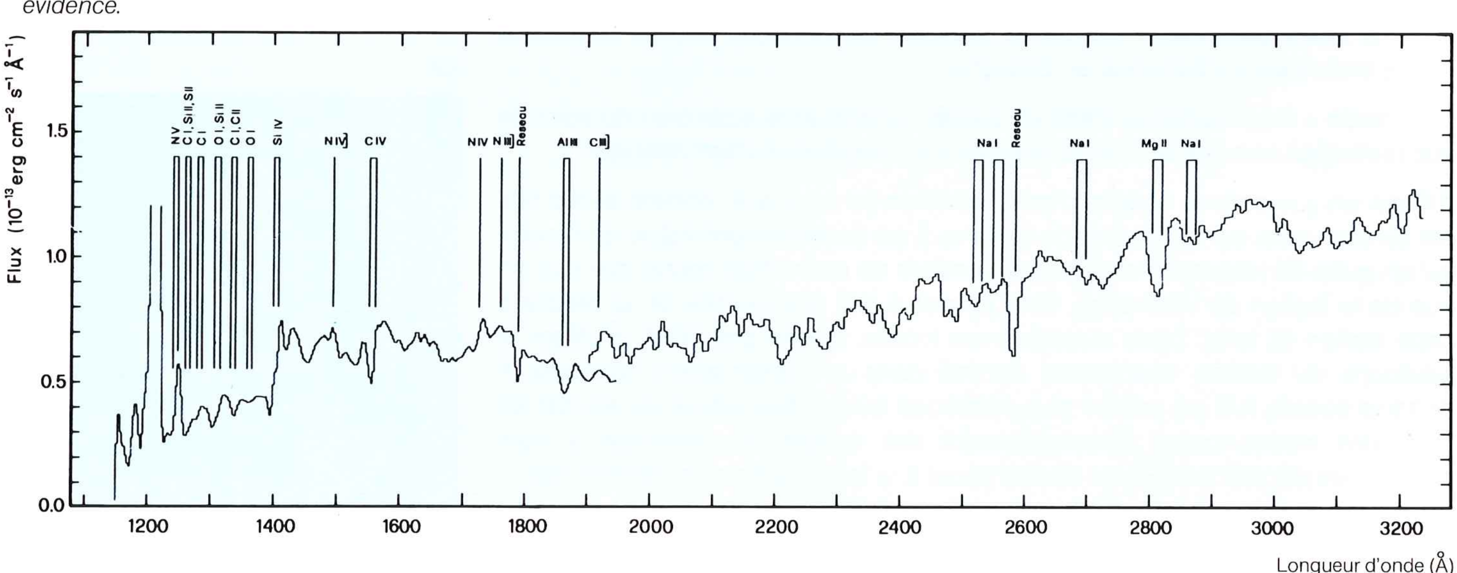
Les intérêts de recherche des astronomes sont très divers et il est difficile de résumer les 561 articles publiés jusqu'à présent (octobre 1983). Trois des nombreux sujets traités étaient:

LES SUPERNOVAE

Bien qu'il se trouve bon nombre de restes de supernovae dans le ciel, l'occasion d'observer réellement une explosion de supernova en train d'avoir lieu est relativement rare. Par conséquent, lorsque le 19 avril 1979 la supernova Johnson fut signalée dans la galaxie M100, la station de Villafranca modifia d'urgence le programme d'observations, et dans les 24 heures l'étude du phénomène avait commencé (figure 6). L'une des possibilités offertes, en principe tout au moins, par une telle étude est la détermination absolue et directe de la distance à la supernova. Cela est tout à fait fondamental et important en astronomie, où les distances sont généralement déduites de proche en proche de sorte que les erreurs ont tendance à se combiner les unes aux autres. Il est possible de mesurer la luminosité de la supernova à deux instants différents, sa température aux mêmes instants, puis d'en déduire son accroissement de taille à partir de la vitesse mesurée et du temps écoulé. Puis, en utilisant les lois de la physique qui disent que l'éclat d'un astre varie en raison directe de son éclat absolu (proportionnel au carré de sa taille et à la puissance quatrième de sa température) et en raison inverse du carré de sa distance, on peut calculer directement cette dernière.

IUE a de la sorte réussi à observer six explosions de supernovae immédiatement après leur découverte et pendant leur décroissance.

Figure 6: Spectre de la supernova Johnson observé par IUE en avril 1979. Les principales caractéristiques d'absorption et d'émission sont bien mises en évidence.



LA PERTE DE MASSE DES ETOILES

IUE a radicalement modifié l'idée que l'on se faisait du phénomène de perte de masse. En particulier, on s'est aperçu que la rapidité de ce phénomène variait considérablement pour des étoiles rayonnant avec des intensités comparables, la perte de mass des étoiles de Wolf-Rayet étant bien plus rapide que ne le prévoyait la théorie de la pression de radiation, et une variabilité à court terme a été constatée dans des étoiles de type B.

ATMOSPHERES, COURONNES ET VENTS STELLAIRES DANS LES ETOILES FROIDES

Une conclusion générale ressortant de l'observation de ces étoiles par IUE est que des champs magnétiques commandent la structure et l'équilibre énergétique de leur haute atmosphère. On a découvert depuis peu avec étonnement que certaines raies spectrales étaient décalées vers la partie inférieure du spectre dans Beta du Dragon et d'autres étoiles. Cela indique un mouvement de reflux du plasma de l'atmosphère stellaire vers l'étoile et laisse supposer une circulation de retour dans des tubes fermés de flux magnétique, comme celle que l'on observe au-dessus des taches solaires dans notre propre Soleil.

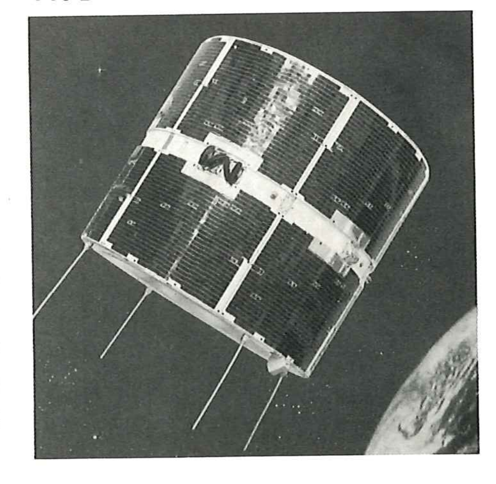
Il est intéressant de noter que nombre d'observations astrophysiques trouvent aujourd'hui leur explication dans des phénomènes qui avaient déjà été observés dans le système solaire et la magnétosphère terrestre. Une plus grande compréhension de ces régions relativement proches devrait accoître nos chances de formuler à l'avenir des conjectures intelligentes au sujet d'étoiles inaccessibles.

Astronomie gamma avec Cos-B

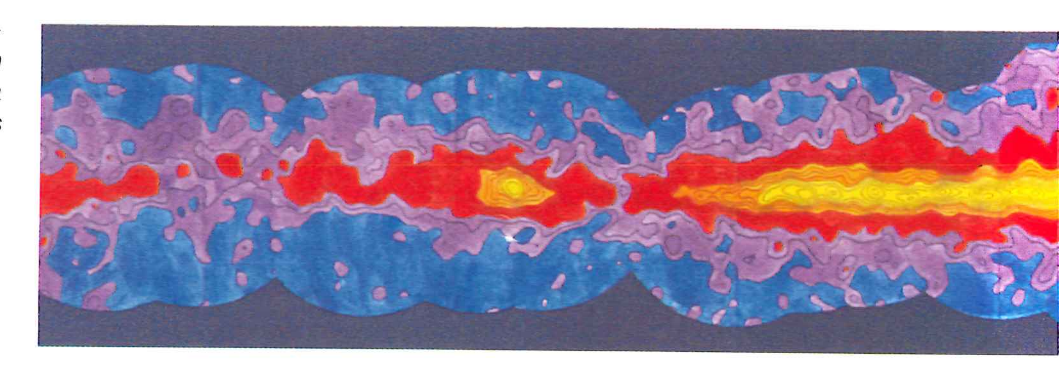
Les rayons gamma sont produits dans l'espace par des interactions mettant en jeu les particules les plus énergétiques connues de l'homme. Les protons du rayonnement cosmique entrent en collision avec la matière interstellaire, constituée surtout de noyaux et d'atomes d'hydrogène, en produisant des rayons gamma par désintégration des produits de la collision nucléaire ou par ralentissement des électrons dans ces collisions (Bremsstrahlung). Les endroits où se produisent ces interactions vont de la Galaxie dans son ensemble, avec le gaz interstellaire partout présent aux régions à forte concentration de gaz, par exemple les nuages moléculaires géants. Les processus électromagnétiques tels que le rayonnement synchrotron ne sont pas très efficicaces pour produire des rayons gamma de haute énergie, sauf dans les pulsars où les champs magnétiques sont assez intenses pour que les électrons produisent des photons de grande énergie.

La nature des rayons gamma est telle que les techniques élégantes dont dispose l'astronomie optique ne peuvent être utilisées. Il a fallu mettre au point de nouveaux dispositifs de détection. Un problème majeur était que les détecteurs qui sont sensibles aux rayons gamma sont également sensibles aux particules chargées, qui sont nombreuses dans la région entourant la Terre. Aussi a-t-on dû procéder à des étalonnages très soigneux pour être sûr que Cos-B enregistrerait les rayons gamma et eux seuls.

Cos-B



Courbes de niveau d'intensité du rayonnement gamma à haute énergie en provenance de la Voie Lactée telle que l'a observée Cos-B (en coordonnées galactiques).



Une mission pratiquement sans défaut six années et demi durant démontra que les responsables des expériences de Cos-B avaient réussi à merveille. Six laboratoires, réunis dans ce qui devait être un modèle de coopération européenne, financèrent séparément, mais construisirent conjointement un dispositif de détection qui éliminait suffisamment les radiations de fond gênantes, et produisirent les premiers catalogues de la sphère céleste vue en rayons gamma.

Il a été démontré que la majeure partie du rayonnement gamma arrivant près de la Terre a son origine dans notre propre Galaxie, dans la région du ciel souvent appelée 'Voie Lactée'. Des études conjointes avec des radioastronomes, qui purent dresser la carte de la teneur en hydrogène gazeux de notre Galaxie, permirent d'estimer l'abondance des rayons cosmiques dans diverses parties de celle-ci.

Des investigations récentes reliant l'émission de rayons gamma observée à la partie extérieure de la Galaxie à l'intensité du rayonnement radioélectrique sur 21 cm ont apporté une preuve qui donne le vertige, à savoir celle de l'existence d'un gradient de densité des rayons cosmiques vers l'anticentre galactique. Ce type de mesure appartient en propre à l'astronomie gamma, et la recherche de l'origine des rayons cosmiques a toujours été une de ses principales justifications. Plus intéressant encore, les résultats obtenus par Cos-B aboutissent à confiner ce gradient aux électrons, ce qui implique qu'un rayonnement cosmique nucléonique existe au moins jusqu'aux confins de notre Galaxie, peut-être dans un halo galactique.

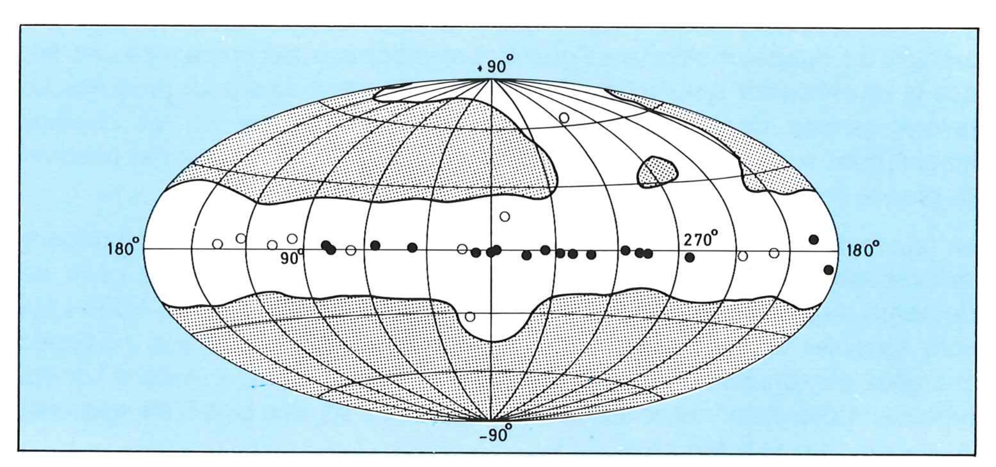
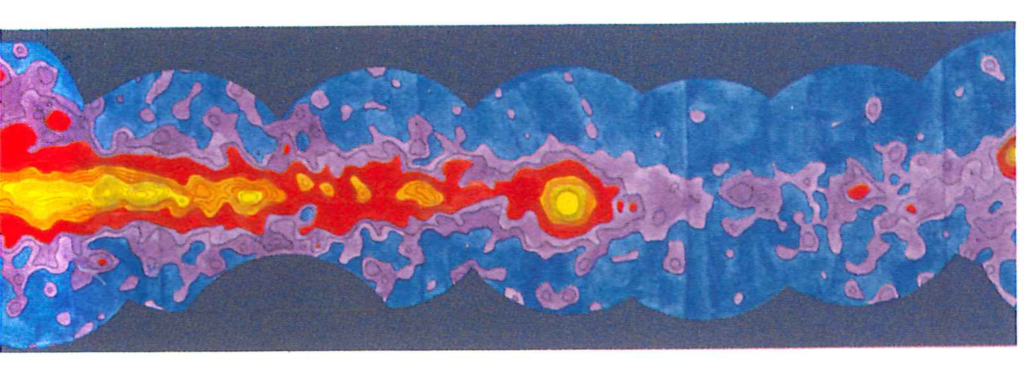


Figure 7: Relevé en coordonnées galactiques de sources de rayons gamma à forte intensité (ronds noirs) et à faible intensité (ronds blancs).



Plus de 20 sources quasi-ponctuelles de rayons gamma ont été découvertes dans le ciel – presque toutes près de notre plan galactique (figure 7). L'existence de sources ponctuelles a été une surprise, et malgré des explorations poussées du ciel avec des télescopes optiques, ultraviolets, infrarouges, des radiotélescopes et des télescopes à rayons X, seules deux des sources de rayons gamma en question ont été identifiées sans ambiguïté. Ce sont les pulsars des Voiles et du Crabe.

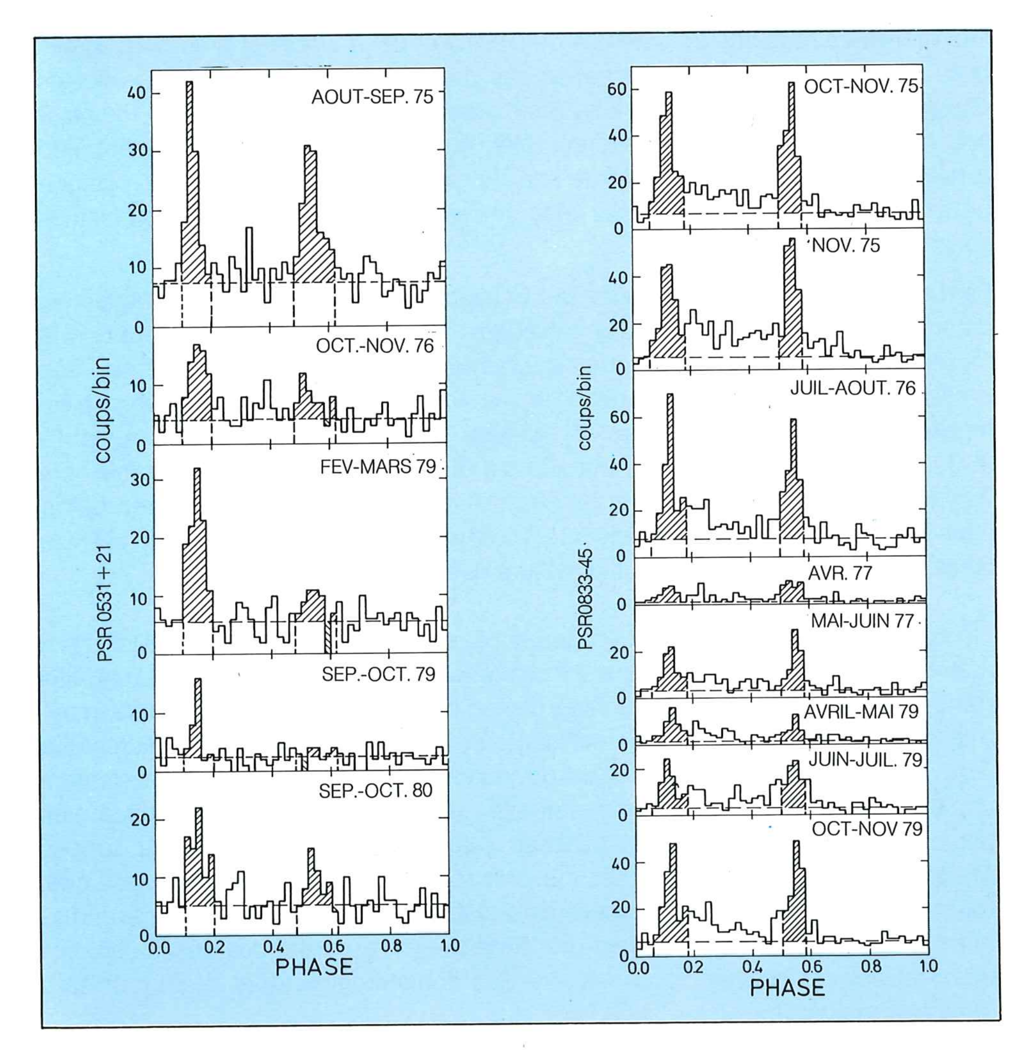


Figure 8: Courbes de rayonnement gamma du Pulsar des Voiles PSR 0833-45 (à gauche) et du pulsar du Crabe PSR 0531 +21 (à droite) à différentes dates. On remarquera la variation de la courbe du Crabe en fonction du temps.

Un pulsar nous envoie son rayonnement par éclairs, comme si on avait un phare dans le ciel. Le complexe lumineux qui nous parvient varie avec la longueur d'onde pour chaque pulsar, et la vitesse de rotation du 'phare' varie d'un pulsar à l'autre. Les particularités du rayonnement émis par les pulsars des Voiles et du Crabe ont été étudiées très en détail par les expérimentateurs de Cos-B. Particulièrement troublante est la façon dont le spectre du pulsar de la nébuleuse du Crabe, vu en rayons gamma, a évolué entre les premières observations faites en 1975 et la fin de la mission en 1982 (figure 8) alors qu'au cours de la même période le rayonnement X du même pulsar est resté identique dans sa structure.

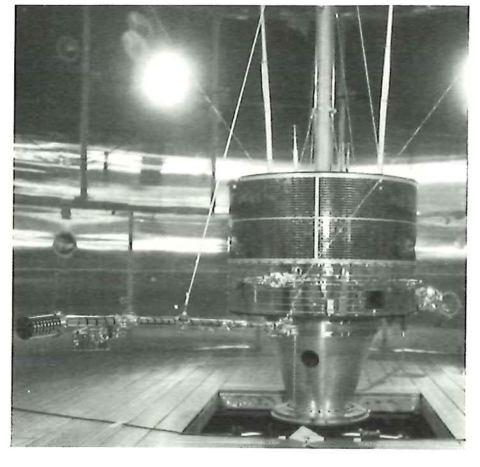
Aujourd'hui encore de nombreux chercheurs, et pas seulement dans le cadre de leur collaboration au projet Cos-B, s'efforcent d'analyser les données qui leur restent et d'apporter une explication aux phénomènes observés. En tout état de cause, la mission Cos-B s'affirme d'ores et déhà comme un succès scientifique et technique tout à fait remarquable. Elle vient ainsi récompenser la persévérance de ses promoteurs face aux objections de ceux qui pensaient que l'entreprise était trop risquée.

Nouvelle génération de mesures Soleil-Terre

Les premières missions de satellites de l'ESRO et de la NASA ont été consacrées pour une grande part à l'exploration du champ magnétique et des particules chargées environnant la Terre. Il subsiste aujourd'hui des secteurs dont même la simple cartographie est loin d'être complète. Mais les premières missions ont aidé à mieux formuler les questions que l'on devait se poser, et il devint clair qu'une nouvelle génération de satellites était nécessaire pour traiter des problèmes spécifiques.

La mesure des champs électriques dans l'espace était espérée depuis longtemps, mais elle présentait de grosses difficultés techniques. On avait soupçonné l'existence d'un certain lien entre l'accélération, par le champ électrique, des particules chargées et les aurores boréales. Il se trouve que les lignes de champ magnétique que l'on rencontre à l'altitude des satellites géostationnaires (à 36 000 km de la Terre) atteignent la surface du globe dans la zone aurorale vers 70° de latitude. L'idée de mesurer les champs électriques à partir de cette position était donc particulièrement séduisante. C'est ainsi que fut mis au point le satellite Geos, ayant pour objectif majeur la mesure des champs électriques.

Geos-1



On savait que ces champs ne dépassaient sans doute pas quelques millivolts par mètre et qu'il fallait prendre grand soin de faire en sorte que la surface du satellite, dans toutes les conditions d'ensoleillement, d'ombre et d'environnement plasmatique, n'acquière pas une charge suffisante pour réduire à néant les mesures que l'on voulait faire. Geos fut le premier de tous les satellites à porter un revêtement totalement conducteur – même sur ses piles solaires. Une expérience très astucieuse faisant appel à un faisceau électronique et une paire de sondes espacées de 40 mètres donna des mesures indépendantes du champ électrique, fournissant non seulement d'excellents résultats scientifiques mais aussi confirmant la technologie du traitement des surfaces. On en a tiré des enseignements très précieux, notamment pour les satellites commerciaux, dont la plupart sont géostationnaires.

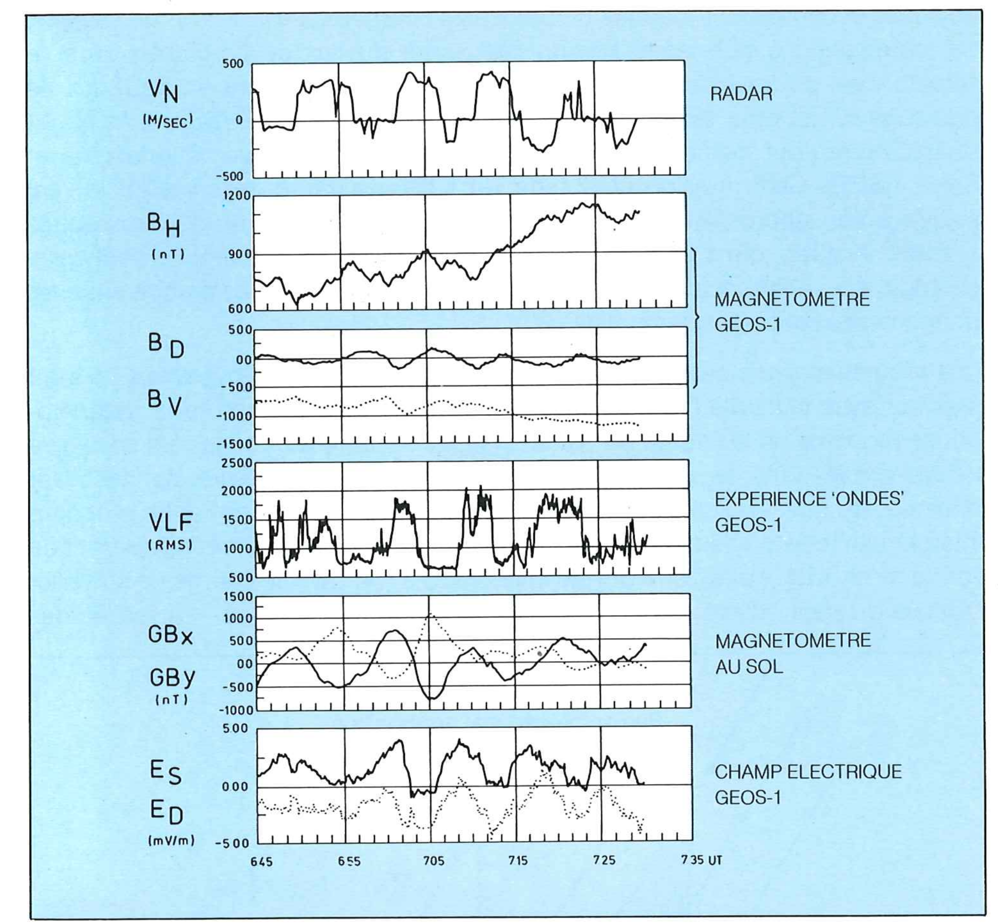


Figure 9: Pulsations observées à bord du satellite géostationnaire Geos, dans la basse ionosphère et au niveau du sol. La corrélation des courbes indiquent que ces pulsations traduisent un phénomène général.

Geos fut adopté par la communauté scientifique mondiale comme satellite de référence pour l''Etude Internationale de la Magnétosphère'. On continue d'étudier activement les données produites. Des progrès majeurs ont été faits dans la compréhension du processus par lequel les ondes électromagnétiques et les particules chargées réagissent les unes sur les autres. Une constatation remarquable est que, lorsqu'on décèle des pulsations dans la magnétosphère au niveau de Geos, on retrouve souvent des pulsations de grande amplitude jusqu'au niveau du sol dans la zone aurorale (figure 9). En période géomagnétiquement calme, il a été constaté que la concentration de base de l'oxygène simplement ionisé sur l'orbite des satellites géostationnaires augmentait avec le flux d'UV solaire, qui est lui-même fonction du nombre de taches solaires (figure 10). On constate d'autre part qu'aux époques géomagnétiquement actives l'oxygène simplement ionisé de l'atmosphère terrestre peut devenir l'espèce ionique dominante au niveau de l'orbite des satellites géostationnaires puis se déverser dans la queue géomagnétique (en fait deux satellites Geos furent lancés: Geos-1 fonctionna parfaitement mais n'atteignit pas l'orbite voulue; Geos-2 fut donc lancé un an plus tard pour y remédier).

Un problème fondamental dans toutes les mesures effectuées avec un seul satellite est de décider, lorsqu'on rencontre une caractéristique donnée, si elle est de nature spatiale ou temporelle. Si, par exemple, le satellite mesure pendant

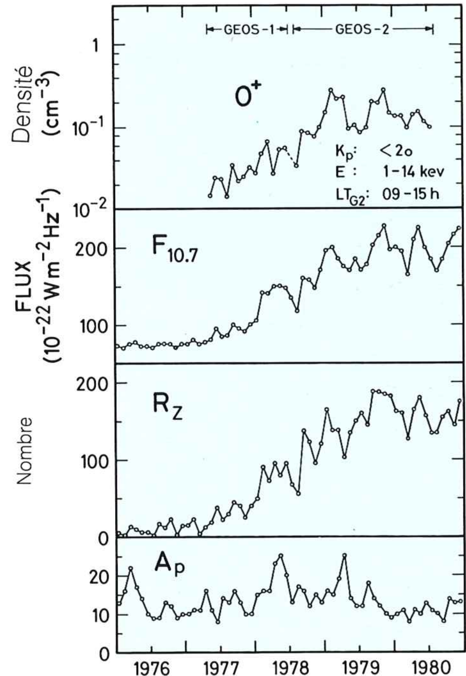
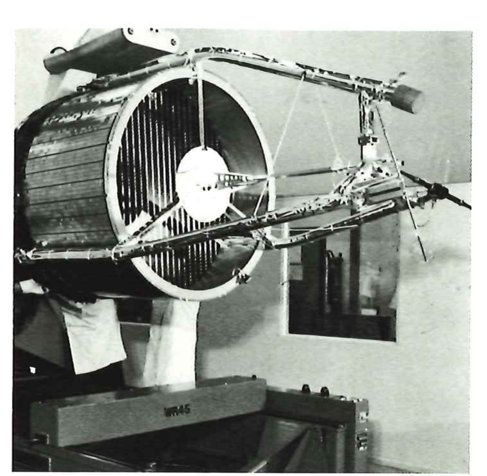


Figure 10: Variation à long terme de la densité de l'oxygène ionisé (O^+) à l'altitude des satellites géostationnaires Geos-1 et Geos-2. L'accroissement de la densité semble être en rapport avec le flux solaire sur 10,7 cm ($F_{10,7}$) et avec le nombre de taches solaires (R_z) mais non pas avec l'indice géomagnétique (A_p).



ISEE

quelques secondes une bouffée de particules chargées, il est difficile de savoir si elle correspond à une intensification passagère du flux de particules, ou si le satellite vient de traverser une région où existe en permanence un haut flux de particules. C'est pour tenter de répondre à ce problème que l'ESA et la NASA s'associèrent pour mettre sur pied la mission d'"exploration internationale Terre-Soleil' (ISEE). Cette mission comprend un satellite chargé de surveiller le vent solaire à son approche de la Terre, tandis qu'un couple formé de deux autres satellites évoluant dans la magnétosphère terrestre étudiait la manière dont celle-ci réagit aux variations du vent solaire, faisant notamment la différence entre les phénomènes spatiaux et temporels.

Des progrès majeurs ont ainsi été rendus possibles. Pour la première fois on a pu mesurer avec certitude l'épaisseur et la vitesse de déplacement de la magnétopause (frontière où le champ du dipôle terrestre se termine et où le vent solaire se trouve arrêté dans sa progression). On a ainsi été en mesure de découvrir quelques exemples de ce qui ressemble effectivement à une liaison entre le champ interplanétaire et le champ magnétique terrestre. Des études détaillées du front de l'onde de choc due à la Terre ont été faites. ISEE-3 – le satellite chargé de surveiller l'arrivée du vent solaire à 240 rayons terrestres de notre globe – a réalisé des

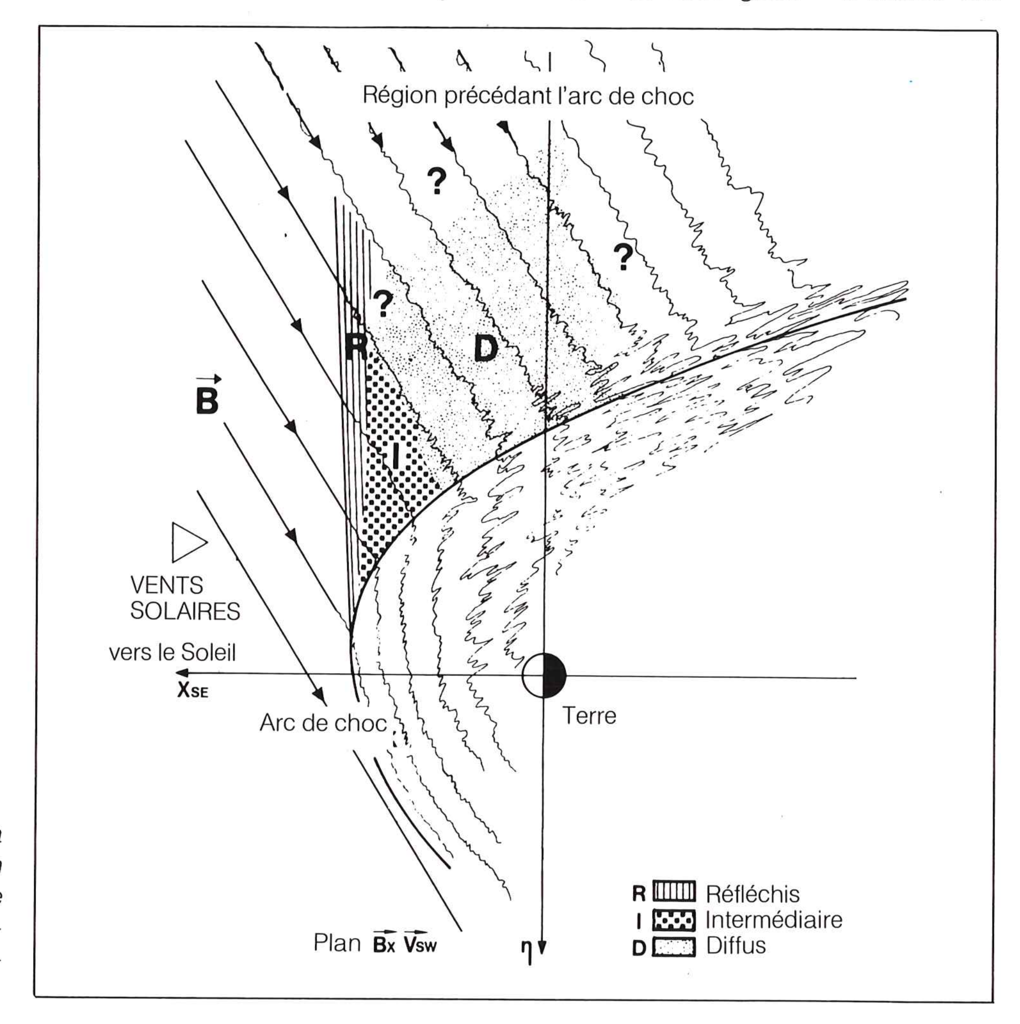


Figure 11: Les ions sont renvoyés de la région de l'arc de choc de la Terre en direction du Soleil et le long des lignes de force du champ magnétique. On distingue les ions réfléchis (R), les ions intermédiaires (I) et les ions diffus (D).

mesures spectaculaires d'ions venant ricocher sur la Terre le long des lignes de champ, en direction du Soleil (figure 11). Récemment, ce même satellite a été envoyé dans la queue géomagnétique pour observer des régions jusqu'alors inexplorées et au moment où nous écrivons ces lignes il est en route vers la comète Giocobini Zinner.

Geos et ISEE ont fourni et continueront probablement à fournir des résultats de premier ordre dans l'étude des relations Soleil-Terre et de la physique des plasmas. Ils ont apporté une contribution majeure au programme d'Etude internationale de la Magnétosphère à laquelle participaient des nations du monde entier – et pas uniquement l'ESA et la NASA.

Astronomie X avec Exosat

Le rayonnement X a tendance à être produit par des processus plus énergétiques que ceux qui donnent naissance au rayonnement ultraviolet, mais moins que ceux qui produisent les rayons gamma. L'astronomie en rayons X a percé bon nombre des secrets qui entourent les objets très compacts présents dans l'Univers, depuis les naines blanches et les étoiles à neutrons jusqu'aux spectaculaires trous noirs engloutissant à jamais les radiations qui y pénètrent. En mai 1983, après plusieurs années de mise au point, l'ESA mit son satellite **Exosat** sur orbite. Après une période d'étalonnage de deux mois, celui-ci commençait à remplir son rôle d'observatoire 24 heures sur 24. Malgré quelques problèmes de charge utile, les premières images indiquent qu'une fois de plus on peut s'attendre à une riche moisson pour les astronomes européens. Quelques exemples des premiers résultats sont donnés ci-dessous:

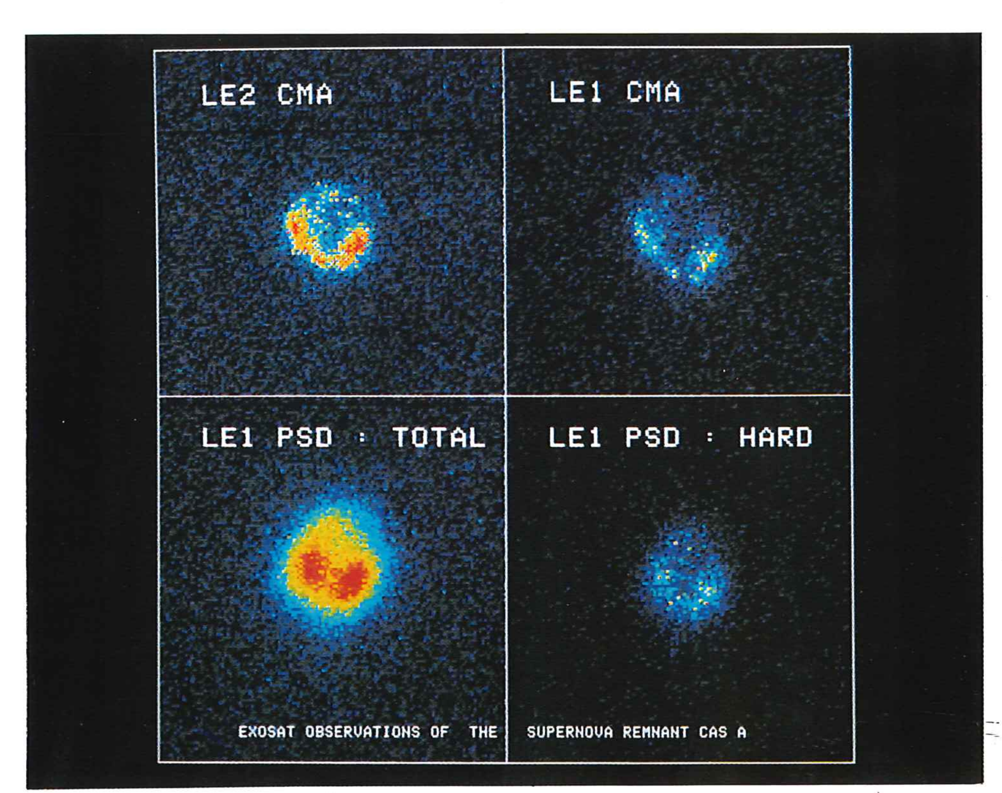
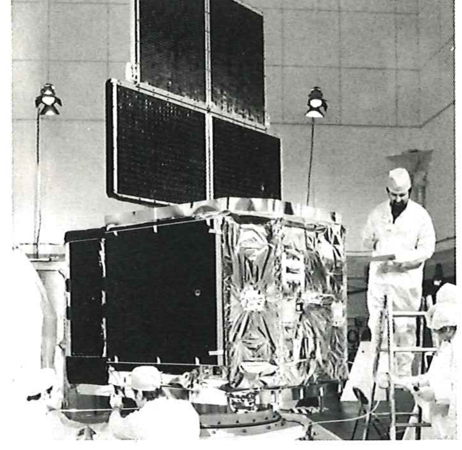


Figure 12: Images du reste de supernova Cas-A prises par le télescope basse énergie d'Exosat.



Exosat

L'observation par Exosat du reste de supernova Cassiopée-A, vestige d'une étoile qui s'est mise à exploser il y a 300 ans environ, illustre assez bien la richesse des informations que l'on peut tirer de tels objets célestes. L'explosion s'est produite après que l'étoile d'origine ait épuisé son combustible nucléaire, l'hydrogène, en le transformant en éléments plus lourds tels que le soufre et le fer, par un processus de fusion nucléaire. Ce même processus dont les étoiles sont le siège est précisément en cours de simulation dans des projets de fusion expérimentale tels que le 'Joint European Torus' (JET). Les observations faites dans la bande des 2 à 30 kiloélectrons-volts (keV) par le bloc moyenne énergie et le compteur proportionnel à scintillateur gazeux ont recueilli des données sur la température générale de l'astre subsistant et sur l'abondance des éléments lourds, le fer en particulier. Les images de ce reste de supernova prises par les télescopes basse énergie ont fourni quelques-unes des meilleures images du rayonnement X cosmique à différentes longueurs d'onde qui aient jamais été obtenues (figure 12).

Tandis qu'Exosat était encore dans sa phase de vérification de performances, une explosion à fréquence optique dans l'ancienne nova GK-Per fut signalée. De telles explosions sont fort rares, aussi le programme d'observations du satellite fut-il réaménagé de manière à comprendre une séquence d'environ 8 heures exclusivement consacrée à ce système binaire de naines blanches. L'expérience moyenne énergie à bord d'Exosat permit de détecter immédiatement une périodicité de 351 secondes du flux de rayons X. La modulation de ces rayons était à peu près sinusoïdale avec une fraction impulsive de 50% environ (figure 13). La source de rayons X était également plus brillante que prévu, indiquant une corrélation avec l'explosion en cours dans le domaine des fréquences optiques. Les pulsations résultent de la rotation de la naine blanche et indiquent qu'elle possède un champ magnétique important qui canalise le gaz d'accrétion provenant de l'étoile jumelle et le précipite sur les pôles magnétiques de la naine blanche. Comme celle-ci tourne toutes les 351 secondes, le faisceau de rayons X provenant de ces points chauds traverse le champ de visée des détecteurs d'Exosat, lesquels détectent une impulsion de rayonnement X.

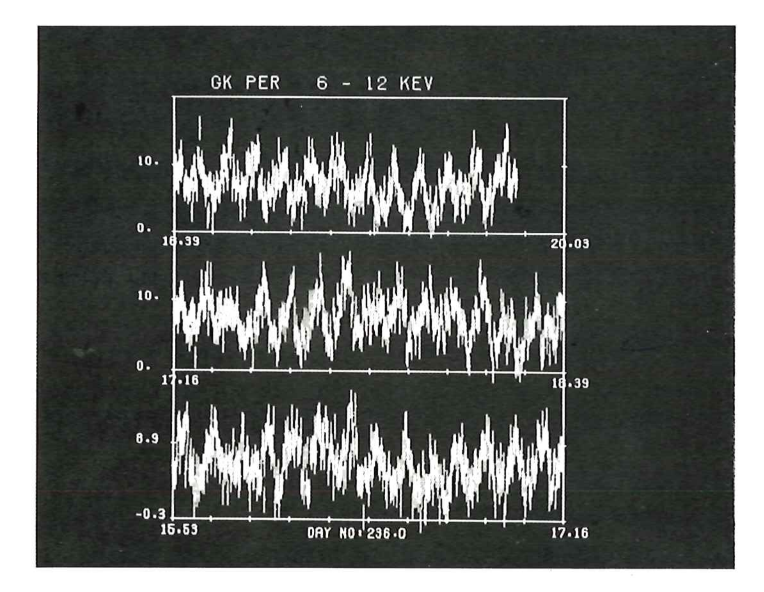


Figure 13: Périodicité de 351 secondes du flux de rayons X observée par Exosat dans le couple de naines blanches GK-Per.

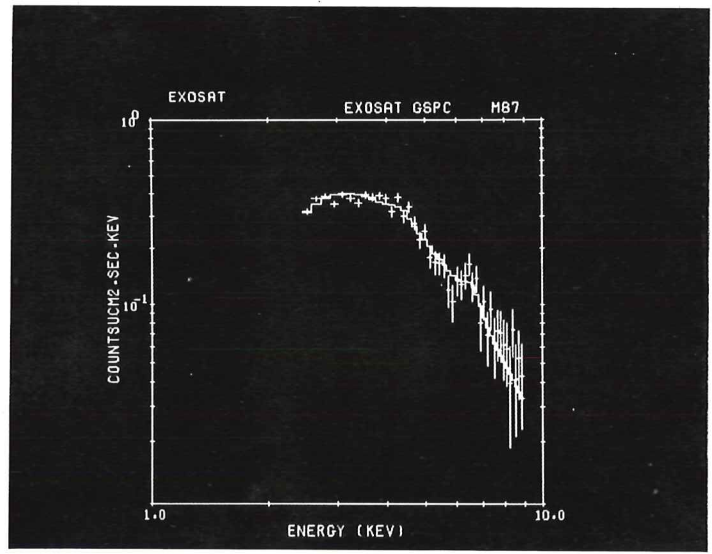


Figure 14: Spectre de rayonnement X de la galaxie elliptique géante de l'amas M87 de la Vierge tel qu'il a été mesuré par le compteur proportionnel à scintillateur gazeux d'Exosat. On remarquera la raie d'émission du fer entre 6 et 7 keV.

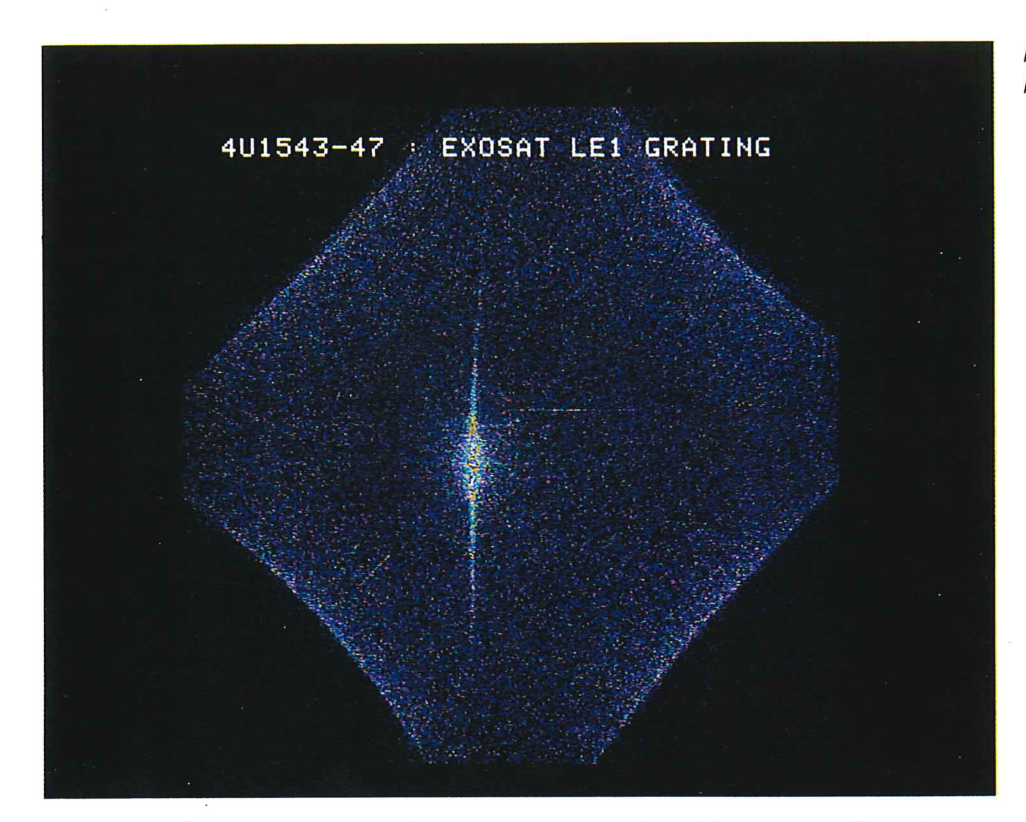


Figure 15: Image de diffraction du système binaire AM Hercules prise par Exosat.

Les observations d'amas de galaxies comme ceux de la Vierge, de la Chevelure et de Persée ont fourni des spectres de grande qualité qui indiquent la présence de fer fortement ionisé. Des observations avec le spectromètre à scintillateur gazeux peuvent renseigner sur la température et la masse du gaz très chaud qui se trouve à l'intérieur des amas et que l'on pense être responsable de l'émission des rayons X, ainsi que sur l'abondance d'éléments lourds. Ces informations fourniront des indices sur la création et l'évolution de certaines des plus grandes formations existant dans l'Univers. Un exemple du type de spectres obtenus est représenté sur la figure 14, qui est le résultat d'une pose de 10 heures sur la galaxie elliptique géante située dans l'amas M87 de la constellation de la Vierge. L'émission du fer autour de 6–7 keV est bien visible.

Une observation de l'étoile double cataclysmique AM Hercules, qui a une période orbitale de 3 heures, illustre les avantages du contact en temps réel et des longues durées d'observation ininterrompue d'Exosat. L'observation de ces sources variables de rayonnement X par des satellites gravitant près de la Terre avec des périodes orbitales de 1,5 heure environ se trouve fortement gênée. Exosat a permis d'étudier sans interruption ladite étoile double sur plus de six cycles binaires. On a optimisé l'utilisation des chambres multiplicatrices à microcanaux du bloc basse énergie en choisissant des filtres différents ou en intercalant un réseau de diffraction en fonction de l'intensité de la source et de la phase du cycle binaire. L'image de diffraction des rayons X est représentée sur la figure 15. Le nombre des photons X observés avec le réseau était tel que les variations d'intensité sur de courtes échelles de temps puissent être examinées en fonction de la longueur d'onde du rayonnement X. Ces données fourniront une meilleurs image de la géométrie des courants de gaz d'accrétion dans le système binaire.

Les prochaines étapes

Outre l'acquisition de données scientifiques à partir des satellites existants, cinq nouvelles missions importantes marqueront le programme scientifique de l'ESA dans les dix prochaines années. Ce nombre est certes modeste, mais l'ampleur des objectifs visés place ces missions au tout premier rang des programmes spatiaux internationaux.

GIOTTO

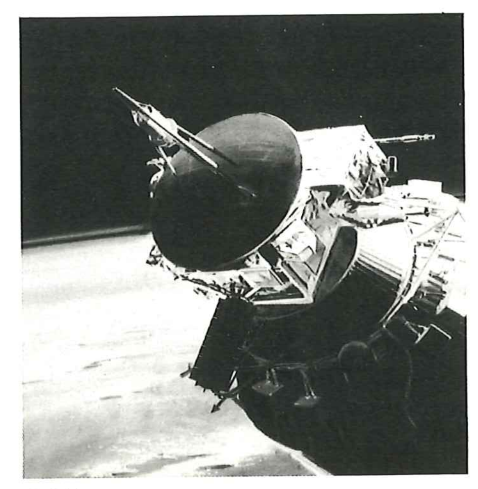
Giotto di Bondone est le nom d'un peintre italien célèbre dont les fresques peuvent être admirées à la Chapelle des Scrovegni à Padoue. Dans l'une d'elles, l'Adoration des Mages, le peintre a représenté l'Etoile de Bethlehem sous la forme d'une comète, probablement parce qu'il était encore sous la forte impression de la récente apparition dans le ciel de la Comète de Halley en 1304. Il était donc naturel de baptiser 'Giotto' la prochaine mission de l'ESA qui préparera une rencontre avec la Comète de Halley le 13 mars 1986.

Bien que des comètes aient souvent été observées au cours des siècles, nous ne savons encore que de manière très fragmentaire ce qu'elles sont, d'où elles viennent et où elles vont. On pense que ce sont les vestiges des grandes nébuleuses gazeuses à partir desquelles le Soleil et ses planètes se formèrent il y a 4,6 milliards d'années, et on suppose qu'elles font partie d'un grand nuage situé à une distance du Soleil égale à plus de 40 000 fois celle de la Terre au Soleil. La Comète de Halley est la plus fameuse et, comme elle décrit une orbite régulière autour du Soleil, sa trajectoire est suffisamment bien connue pour permettre à une sonde spatiale de la rencontrer à une date précise. Cette sonde (fig. 15) est actuellement en cours de construction et emportera un ensemble de dix instruments scientifiques comprenant une caméra de télévision couleur, des spectromètres de masse, des analyseurs et des détecteurs de poussière et de plasma pour mesurer les particules et le champ magnétique dans le voisinage immédiat de la comète. La caméra prendra des images du noyau, dont on ignore encore à l'heure actuelle la composition et la structure. Comme la comète décrit une orbite rétrograde, la vitesse relative de la sonde au moment de la rencontre sera de 70 km/s. Comme la distance au noyau ne sera au même moment que de 1000 km, Giotto subira un intense bombardement par une grande quantité de particules de poussière dont l'énergie sera telle que tous les instruments doivent être protégés des chocs par un bouclier de double épaisseur. L'impulsion qui sera communiquée au satellite risque d'être assez forte pour modifier légèrement son orientation le long de sa trajectoire.

Giotto sera lancé par une fusée Ariane en juillet-août 1985 et atteindra la Comète de Halley après un voyage de quelque huit mois. Lorsqu'il atteindra la comète le 13 mars 1986, deux sondes soviétiques et deux sondes japonaises l'auront déjà précédé, mais de tous ces projets, Giotto est le plus ambitieux à cause de sa distance d'observation très rapprochée. Associée dans une entreprise tout à fait inédite et remarquable, la NASA, qui assure la poursuite du satellite et la collecte des données depuis le sol, l'Union Soviétique, le Japon et l'ESA coopèrent étroitement dans l'échange d'informations et la coordination de leurs observations, en particulier pour définir avec plus de précision la trajectoire de la comète, dont la connaissance est cruciale pour Giotto.

Giotto

ETUDE INTERNATIONALE DES POLES DU SOLEIL (ISPM)


ISPM

Moins d'un an après le lancement de Giotto, l'ESA et la NASA s'associeront à nouveau dans une entreprise unique en son genre en lançant ISPM (figure 16). Cette sonde spatiale sera le premier objet construit par l'homme à quitter le plan de l'écliptique. Réalisée par les soins de l'Agence, elle doit être lancée par la Navette spatiale en mai 1986 pour voyager ensuite dans le plan de l'écliptique jusqu' à Jupiter, dont l'énorme champ gravitationnel déviera sa trajectoire hors de l'écliptique.

Cinq ans après son lancement, la sonde survolera les pôles du Soleil à une distance à peu près égale à deux fois la distance Terre-Soleil.

Les objectifs scientifiques primordiaux de la mission ISPM sont d'étudier le milieu interplanétaire en trois dimensions, notamment les caractéristique du vent solaire, les champ magnétiques, les gaz et les poussières interplanétaires ainsi que les rayons cosmiques galactiques, le tout en fonction de la distance au-dessus du plan de l'écliptique.

Près de la moitié des expériences seront sous direction européenne, la NASA étant responsable du reste d'entre elles. Au total, 100 chercheurs appartenant à plus de 40 universités et instituts de 12 pays participeroht à cette mission tout à fait inédite.



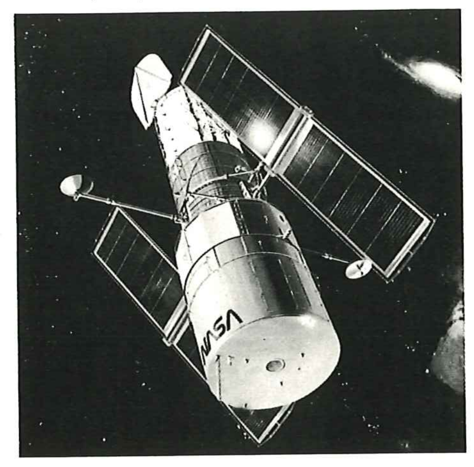
PARTICIPATION DE l'ESA AU TELESCOPE SPATIAL

A peine quelques semaines après le lancement d'ISPM, la NASA lancera ce qui constitue son projet le plus ambitieux en astronomie spatiale: le Télescope spatial de 2,4 m de diamètre qui est appelé à dominer la recherche astronomique pour le reste du 20ème siècle. L'ESA contribue pour 15% à ce projet avec la fabrication des panneaux solaires du satellite et d'un des cinq instruments placés au foyer, à savoir la chambre de prise de vues pour astres faibles et son ensemble détecteur de photons. Elle apportera également son concours et son soutien aux activités du Space Telescope Science Institute implanté sur le campus de l'Université John Hopkins à Baltimore.

Etant conçue pour étudier des objets jusqu'à la magnitude 29, la chambre de prise de vues pour astres faibles observera les parties les plus éloignées de notre Univers et les premiers moments de son évolution. Elle étudiera également des structures peu distinctes autour d'objets brillants, telles que des nébuleuses gazeuses ou même des planètes liées à d'autres étoiles. A cette fin, l'instrument a été équipé d'un détecteur à faible bruit qui est capable de détecter et de compter les photons un à un.

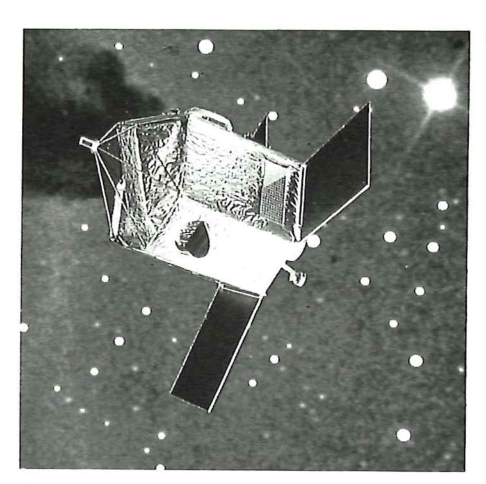
Pendant la durée de la mission, l'Institut scientifique de Baltimore sera le centre de gravité de l'astronomie mondiale.

Télescope spatial



L'ESA CONSTRUIT DEUX OBSERVATOIRES SPATIAUX MAJEURS

Après le Télescope spatial, l'Agence construira deux installations astronomiques majeures. Avec Exosat, l'ESA est réellement entrée dans l'ère des observatoires



Hipparcos

astronomiques de l'espace. Avec Hipparcos et ISO, elle exploitera à plein cette nouvelle méthode d'étude des astres.

Hipparcos est un satellite unique en son genre. IUE, Cos-B, Exosat et le Télescope spatial ont ou ont tous eu comme objectif principal la détection de rayonnements lumineux inobservables de la Terre soit parce qu'ils sont absorbés par l'atmosphère terrestre soit à cause de la luminosité de l'atmosphère elle-même. Hipparcos mesurera quant à lui la position et le mouvement propre des étoiles. Il s'agit d'une mission d'astrométrie spatiale qui permettra d'effecturer ces mesures pour environ 100 000 étoiles sélectionnées, avec la plus grande précision qui ait jamais été atteinte. Cela permettra ensuite de déterminer les caractéristiques intrinsèques de ces étoiles. En effet, il faut connaître avec précision la distance des étoiles pour en déduire leur luminosité intrinsèque et par conséquent leur structure interne et la façon dont elles évoluent. Ces données ne sont connues à l'heure actuelle que pour un très petit nombre d'étoiles, et sont déduites avec une précision médiocre pour d'autres étoiles. Plus de 200 personnes ou instituts de plus de 20 pays participeront à ce projet majeur.

Hipparcos sera lancé par Ariane dans la première moitié de 1988 et aura une durée de vie nominale de deux ans et demi.

L'Observatoire spatial dans l'infrarouge (**ISO**) est le dernier en date de cette série d'ambitieux projets mais certainement pas le moindre. A bord du satellite se trouve un télescope de 60 cm de diamètre refroidi en permanence à 10 K à l'aide d'un double vase Dewar à hydrogène et hélium liquides de façon à maintenir le rayonnement thermique du télescope lui-même au niveau le plus bas possible.

L'observation, au niveau du sol, du rayonnement infrarouge d'objets astronomiques est gênée par l'absorption atmosphérique terrestre et aussi par le rayonnement ambiant provenant de l'atmosphère. ISO permettra des mesures environ mille fois plus sensibles que les mesures au sol ou à bord de ballons ou d'aéronefs. Comme l'émission infrarouge est caractéristique des objets les plus froids, se satellite aura un rôle clé à jouer dans l'observation des étoiles en formation à partir de nuages protostellaires. Comme la lumière des galaxies les plus lointaines est décalée vers l'infrarouge, et comme certaines galaxies émettent intrinsèquement la totalité de leur lumière dans cette partie du spectre électromagnétique, on disposera d'un instrument idéal pour étudier ces objets qui jouent un rôle majeur dans la compréhension que nous avons de l'Univers et de ses propriétés.

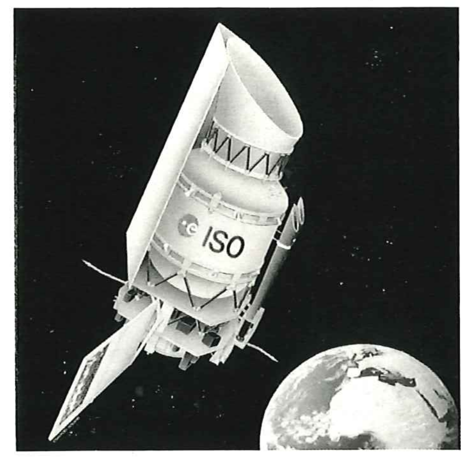
ISO sera utilisé comme observatoire tout au long de sa durée de vie de 18 mois. Il sera lancé en 1992 par une fusée Ariane.

Les deux dernières missions mettent en oeuvre de très grosses plates-formes d'observation, mais la communauté scientifique européenne, pensant à l'avenir, a déjà proposé des projets nouveaux et particulièrement ambitieux dans plusieurs domaines de la science spatiale.

En astronomie, elle prévoit de tirer parti des appréciables capacités d'emport du lanceur Ariane et la Navette spatiale pour mettre sur orbite de grands télescopes à rayons X et à infrarouges, de plusieurs mètres de diamètre, qui permettront d'observer des objets de moins en moins lumineux avec des définitions toujours

plus fines, repoussant de plus en plus loin les limites de l'univers observable. L'avènement d'interféromètres destinés à l'astronomie spatiale, dans la mise au point desquels l'Europe joue réellement un rôle de pionnier, poussera jusqu'à son extrême limite la faculté que nous avons d'observer non seulement la surface des étoiles et des taches stellaires, mais aussi les planètes et les autres objets qui gravitent autour d'elles.

La communauté scientifique européenne envisage également de participer au programme fondamental d'étude de la physique du système formé par le Soleil et la Terre, en observant des phénomènes et mesurant des paramètres à la surface du Soleil, dans le proche environnement de la Terre et dans le milieu interplanétaire qui les sépare. Il s'agit de mieux comprendre ce qui commande au juste notre climat et notre environnement et, en même temps, d'appréhender la physique fondamentale de chaque élément du système pris séparément.



ISO

S'efforçant de jouer sa partie dans ce qui est l'aventure humaine la plus ambitieuse de tous les temps – à savoir l'exploration du système solaire – cette communauté projette d'envoyer des sondes vers les planètes éloignées de notre système solaire et à explorer leurs satellites naturels, à visiter d'autres comètes et astéroïdes et même à atterrir sur quelques-uns d'entre eux.

L'Europe et ses savants pensent véritablement à l'avenir jusqu' à l'horizon du 21ème siècle. Compte tenu de leurs succès au cours des vingt années écoulées, on peut à tout le moins espérer que certains de ces projets se matérialiseront un jour ou l'autre.

L'Institut européen de Recherche spatiale (ESRIN)

Les visiteurs d'aujourd'hui pourraient se demander d'où l'ESRIN tient son nom. Il est certain que ses occupants actuels, le service de Ressaisie de l'Information et le réseau Earthnet de l'Agence spatiale européenne, font un travail important, mais pas d'une nature qui justifie la dénomination ESRIN.

Ce nom remonte à 1964, date à laquelle il fut décidé qu'un établissement de l'ESRO devait être implanté près de Rome pour compléter par des études théoriques et de laboratoire l'examen des conditions réelles qui règnent dans l'espace. Les grandes lignes d'un programme scientifique de l'ESRIN furent approuvées par le Conseil en juillet 1965.

PRINCIPAUX VOLETS DU PROGRAMME

- Expériences destinées à simuler l'interaction entre le vent solaire et la magnétosphère.
- Données fondamentales sur les processus d'excitation et de rayonnement dans les atomes ionisés, les techniques spectroscopiques devant constituer une partie essentielle du programme spatial de l'ESRO.
- Travaux théoriques sur les ondes de choc et instabilités dans le milieu interplanétaire; la structure des ondes de choc 'sans collisions'; les propriétés des nappes de plasma neutre; les lois de similitude pour l'interaction vent solaire/magnétosphère.

Les restrictions budgétaires jouèrent un rôle plus important qu'à l'accoutumée



Les premiers travaux sur le site de l'ESRIN.

dans les premiers temps de l'ESRIN. La constitution du personnel et la mise en place des installations traînèrent en longueur durant l'année 1966, avec d'importants retards en perspective pour les bâtiments expérimentaux, techniques et administratifs.

En fait, il faudra attendre 1971 pour pouvoir parler d'un établissement en pleine activité; le Conseil de l'ESRO décide alors, à sa réunion de décembre 1971, que dans le cadre de la réforme de l'Organisation '... les activités actuelles de l'ESRIN n'entrent plus dans le champ des activités de l'Organisation'. A partir de ce moment, les activités scientifiques vont connaître un déclin rapide pour prendre fin dans les premiers mois de 1973. La vie administrative de l'Institut s'acheva le 30 septembre 1973. Durant ses quelques années d'activité, l'ESRIN obtint pourtant des résultats substantiels.

RECHERCHE EXPERIMENTALE

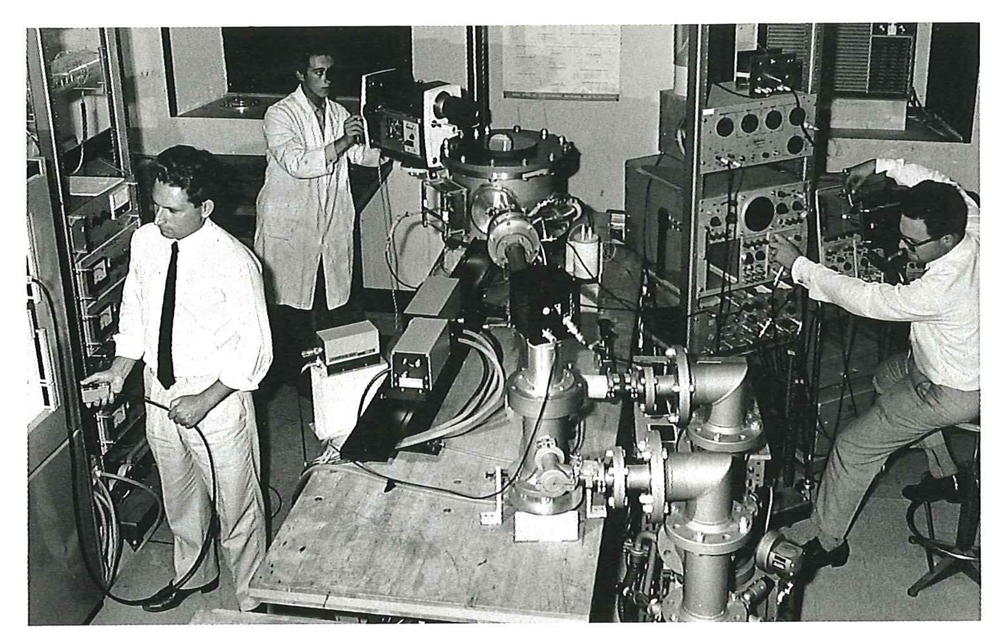
Etude en soufflerie

Une machine Q classique fut utilisée pour produire un plasma alcalin de faible densité totalement ionisé. On pouvait faire varier les principaux paramètres de ce plasma (densité, température, configurations de champ magnétique, potentiels de cathode, etc.) dans de larges proportions et faire appel à différents moyens de diagnostic (sondes, grilles, dispositifs hyperfréquences, analyseurs). Le but de l'expérience était d'étudier, dans les conditions du laboratoire, des phénomènes électrostatiques se rapportant aux problèmes du milieu spatial (structure du 'front de choc' de la Terre, chauffage des ions du vent solaire, etc.). Le dispositif Q fut modifié en une tuyère magnétique de Laval, en analogie avec le mécanisme d'accélération du vent solaire dans le champ gravitationnel. On faisait en sorte que le plasma supersonique ainsi obtenu vienne frapper des obstacles appropriés. Des résultats furent obtenus sur le caractère supersonique du plasma, sur le refroidissement adiabatique des ions et sur la formation des ondes de choc. Ces conditions de formation furent améliorées, avec augmentation du rapport T_e/T_i, par chauffage hyperfréquences des électrons.

La distribution énergétique des ions fut étudiée et l'influence du chauffage par hyperfréquences sur le gaz de fond fut déterminée au moyen d'un analyseur d'énergie. L'emploi de la tuyère magnétique a permis une transformation partielle de l'énergie des électrons, sous l'effet du chauffage par hyperfréquences, d'un mouvement perpendiculaire à un mouvement parallèle.

Il fut ainsi possible d'étudier le mécanisme des interactions à deux courants dans le régime de densité sans collisions.

Dans la première moitié de 1972, les travaux sur le développement non linéaire de l'instabilité à deux faisceaux d'ions furent menés à leur terme. Ce travail montra qu'une répartition comportant deux faisceaux d'ions en présence d'une haute température électronique ($T_e/T_i > 3,0$) était instable vis-à-vis des ondes pseudosonores. La turbulence des ondes pseudosonores des ions instables provoque donc un remplissage du système à deux faisceaux d'ions, qui se trouve ainsi stabilisé par un effet quasi linéaire. Une théorie quasi linéaire modifiée, mise en avant pour expliquer cet effet, montra un bon accord avec les résultats expérimentaux.



Expérience de simulation du plasma à la surface du Soleil ('SOLO').

Simulation des 'siffleurs' radioélectriques à très basse fréquence

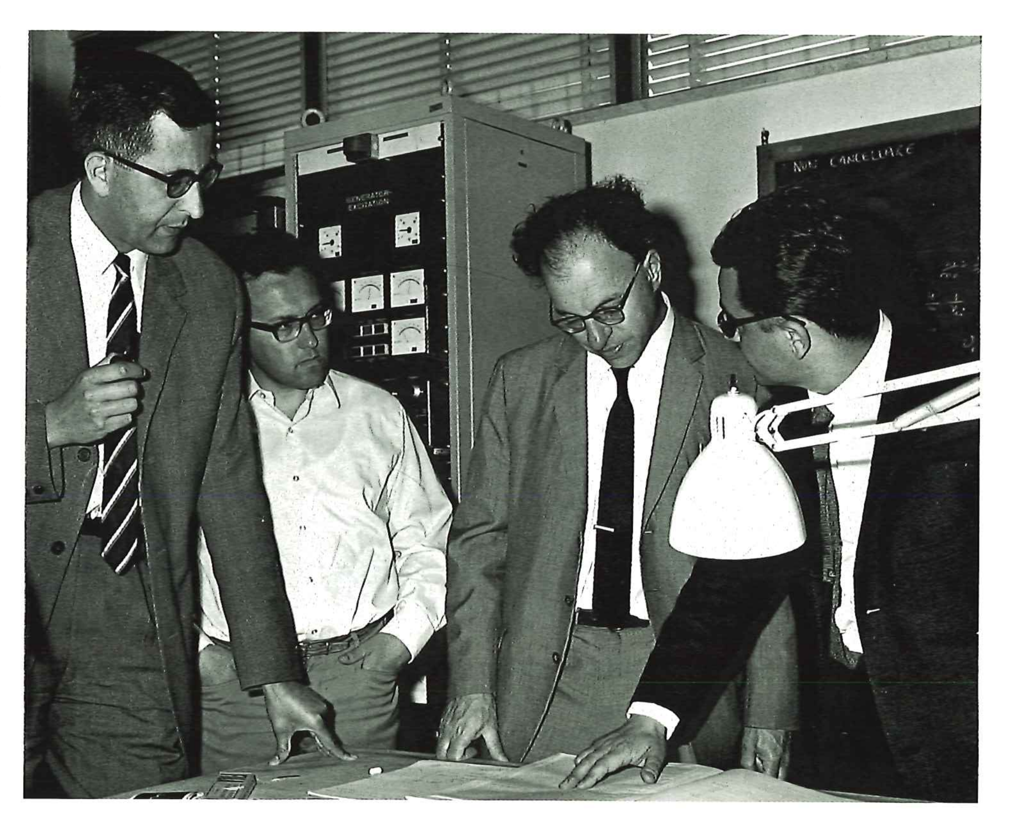
On a procédé à des mesures de la relation de dispersion des siffleurs radioélectriques, y compris la mesure directe de la vitesse de groupe et de la vitesse de phase des ondes. De plus, une technique permettant de mesurer la densité du plasma à l'aide d'un interféromètre spécial a été mise au point. Des comparaisons ont été faites avec la densité mesurée par un interféromètre à hyperfréquences et une sonde de Langmuir.

Un canon à électrons a été mis au point et réalisé pour l'étude des siffleurs instables en présence d'un faisceau d'électrons hélicoïdal (simulation des émissions TBF). Le canon à électrons produisait un faisceau d'électrons avec une tension d'accélération comprise entre 1000 V et 3000 V et une intensité utilisable maximale dans le plasma de 1 mA. On pouvait faire varier l'angle d'attaque de 0° à presque 90°. Il n'a pas été observé d'instabilité dans ces conditions. Les calculs montraient qu'une multiplication par 10 ou 100 de la densité du faisceau ou de l'intensité électrique devait se traduire par des conditions instables. Malheureusement, l'expérience fut interrompue avant que le canon puisse être modifié pour fournir de telles intensités.

Impact des électrons et spectroscopie dans l'extrême ultraviolet

Au cours de ces dernières années, l'activité de l'ESRIN dans ce domaine a essentiellement porté sur l'expérience d'absorption dans l'ultraviolet extrême, utilisant le synchrotron de 2,5 GeV de Bonn comme source de continuum de fond. Les spectres d'absorption du cadmium et du mercure dans cette partie du spectre ont été photographiés; ce sont les spectres d'absorption atomique de longueur d'onde la plus courte qui aient été observés à l'époque. De nombreux spectres d'absorption moléculaire dans l'extrême ultraviolet furent également étudiés, notamment ceux des composés azote-oxygène. Dans une expérience particulièrement intéressante, la différence de largeur de la raie N_2 à 30,93 Å, mesurée par des techniques d'absorption et de spectroscopie électronique type ESCA, fut

Visite de l'ESRIN en 1970 par le Prof. H. Bondi, Directeur général de l'ESRO. (De gauche à droite: Dr. d'Angelo, Chef de l'ESRIN, Dr. Bartoli, Prof. Bondi et Dr. Bitter).



étudiée et partiellement expliquée. La chambre à étincelles sous vide construite à l'ESRIN fut transférée à Bonn pour servir de source d'étalonnage pour les spectres d'absorption XUV jusqu'à la limite inférieure de 20 Å, ce qui constitue une installation unique sur un synchrotron. Un spectrographe fut également adapté aux travaux photométriques à Bonn.

Le programme Hartree-Fock de Froese fut utilisé avec de bons résultats pour identifier les spectres XUV. De nouvelles identifications dans le spectre de Mg I furent réalisées, et on fit grandement progresser l'analyse des spectres complexes de R61 et de K I. Plus de 100 configurations comprenant 27 éléments et leurs ions furent résolues afin d'aider à identifier les spectres de plasma produits par laser au laboratoire de Culham.

Après de premiers résultats encourageants, l'expérience d'impact d'électrons à l'aide de l'analyseur d'énergie électrostatique de Green-Proca fut transférée à l'Imperial College.

Détecteur d'ondes gravitationnelles

Une reproduction d'un détecteur d'ondes gravitationnelles de Weber fut réalisée. Les analyses par ordinateur montrèrent qu'aussi bien la distribution que l'énergie moyenne des impulsions observées correspondaient au bruit thermique de l'antenne. Ce signal fut enregistré sur bande magnétique avec une précision temporelle de quelques millisecondes pour permettre des mesures de coïncidence avec d'autres détecteurs.

Les activités expérimentales ont également porté sur les plasmas produits au



L'ESRIN en 1978.

moyen d'un laser, la diffusion laser dans l'atmosphère, et les sources laser pour l'étude de la diffusion atmosphérique.

Recherche théorique

Il est difficile de résumer le travail théorique qui a été fait à l'ESRIN en des termes compréhensibles au profane. Force est donc de se borner à la mention des principaux sujets et axes de recherche, qui englobèrent des études sur les propriétés des ondes et des chocs au sein des plasmas spatiaux.

En particulier, les sujets suivants furent étudiés:

- Couplage non linéaire entre ondes à fréquence acoustique et siffleurs radioélectriques. Ce phénomène est intéressant en tant que mécanisme de dissipation possible dans les ondes de choc 'sans collisions', notamment en relation avec le modèle de choc secondaire électrostatique du front de choc de la Terre.
- Instabilité de Kelvin-Helmholtz dans un plasma à β élevé. Une étude fut entreprise en ce qui concerne la stabilité d'un plasma non homogène, à β arbitraire, circulant le long d'un champ magnétique uniforme, lorsque la vitesse et la densité de ce plasma varient toutes deux dans une direction perpendiculaire à celle du champ.
- Caractéristiques théoriques de l'anomalie de résistivité dans un plasma turbulent confiné à l'intérieur d'un champ magnétique intense. Le problème général posé par ce phénomène fut abordé aussi bien en régime de champ électrique faible qu'en régime de champ électrique fort.
- Structure du front de l'onde de choc de la Terre et stabilité de la queue géomagnétique.

La recherche sur les ondes de choc hydromagnétiques dans les plasmas sans collisions a suscité des efforts expérimentaux et théoriques très importants pour comprendre la nature des instabilités du plasma qui sont responsables de la dissipation anormale observée. Une théorie non linéaire de l'une des instabilités proposées (l'instabilité de dérive des électrons $E \times B$ avec T_e sensiblement égal à T_i) a été élaborée à partir de l'équation cinétique des ondes pour les plasmas faiblement turbulents dans un champ magnétique uniforme. Les résultats électriques obtenus à l'ESRIN sur le niveau de turbulence donnent une explication satisfaisante des résultats obtenus par diffusion laser dans l'expérience de choc hydromagnétique transverse à β élevé qui fut menée à Garching. Le rapport entre l'instabilité de dérive des électrons $E \times B$ et la turbulence du plasma au niveau du front de choc de la Terre a été étudié.

Des travaux sur les irrégularités de l'électrojet équatorial furent poursuivis dans deux directions:

(a) On a pu estimer l'ordre de grandeur du plus grand nombre d'onde pour lequel des niveaux de fluctuation suprathermique pouvaient être excités non linéairement par l'instabilité de champ transverse; les calculs théoriques concordent bien avec les observations.

(b) La théorie de relaxation quasi linéaire de l'instabilité à deux courants a été améliorée pour prendre en compte le caractère bidimensionnel de cette instabilité.

Une étude des transitions discontinues dans un plasma porteur de courant fut entreprise en vue d'établir les conditions de l'apparition de couches doubles, de telles structures ayant été invoquées dans certaines théories sur les éruptions solaires, ainsi que pour certains problèmes relatifs à l'ionosphère et à la magnétosphère.

Enfin, une étude portant sur l'effet des ondes à fréquence acoustique et des ondes d'Alfvén sur les chocs interplanétaires a permis de découvrir qu'en présence de telles ondes le rapport de compression diminuait.

Autres sujets étudiés:

- Comportement non linéaire des siffleurs radioélectriques se propageant obliquement par rapport au champ magnétique dans les plasmas anisotropes à β élevé.
- Modèle autoconcordant d'une nappe de plasma neutre. Les résultats d'une description cinétique et macroscopique ont été appliqués au feuillet neutre dans la queue géomagnétique.
- Diffusion et affaiblissement renforcés des ondes électromagnétiques dans l'ionosphère.
- Lois de similitude pour la reproduction en laboratoire des phénomènes relatifs aux plasmas spatiaux.

Au cours de la période de diminution des activités, la plus grande partie possible des travaux a été transmise dans leur état d'avancement à des universités et instituts européens.

Dès le début, l'ESRIN a joué un rôle actif et efficace dans la promotion des échanges d'idées et de résultats scientifiques entre chercheurs, en organisant des

conférences sur les ondes de choc 'sans collision', la physique des plasmas à l'échelle cosmique et une foule d'autres sujets. Parmi les hôtes de marque qui ont pris part à ces manifestations figure notamment le Prof. Hannes Alfvén, lauréat du Prix Nobel.

SYMPOSIUMS & COLLOQUES A L'ESRIN (1966–72)

9 mai — 3 juin 1966

Groupe d'étude ESRIN sur les Plasmas dans l'espace et en laboratoire (Document publié: ESRO SP-20).

juillet 1967

1er Symposium ESRIN/ESLAB.

4-8 décembre 1967

Groupe d'étude ESRIN sur la Stabilité des plasmas plans (document ESRO SP-36).

23-27 septembre 1968

2ème Symposium ESRIN/ESLAB sur les Ondes de basses fréquences et les Irrégularités dans l'ionosphère. (Environ 60 participants, dont 22 conférenciers venant d'Europe, des Etats-Unis, d'URSS et du Pérou).

11-20 juin 1969

Les Chocs sans collision en laboratoire et dans l'espace (document ESRO SP-51).

– environ 40 participants venant d'Europe, des Etats-Unis et d'URSS.

– Conférences de synthèse par le Dr H. Hintz (de Jülich) et le Prof. R.X. Zagdeev (de Novosibirsk).

6-10 juillet 1970

4 ème Symposium ESRIN/ESLAB sur les Modèles et les expériences associées dans la haute atmosphère (environ 50 participants, comptes rendus publiés par D. Reidel).

20-24 septembre 1971

1ère Conférence européenne sur la Physique du Plasma cosmique

– patronnée par la Société européenne de Physique

– 10 conférences de synthèse, 5 conférences spéciales, et environ 30 contributions.

– comptes rendus publiés par Plenum Pub.

9 mai 1972

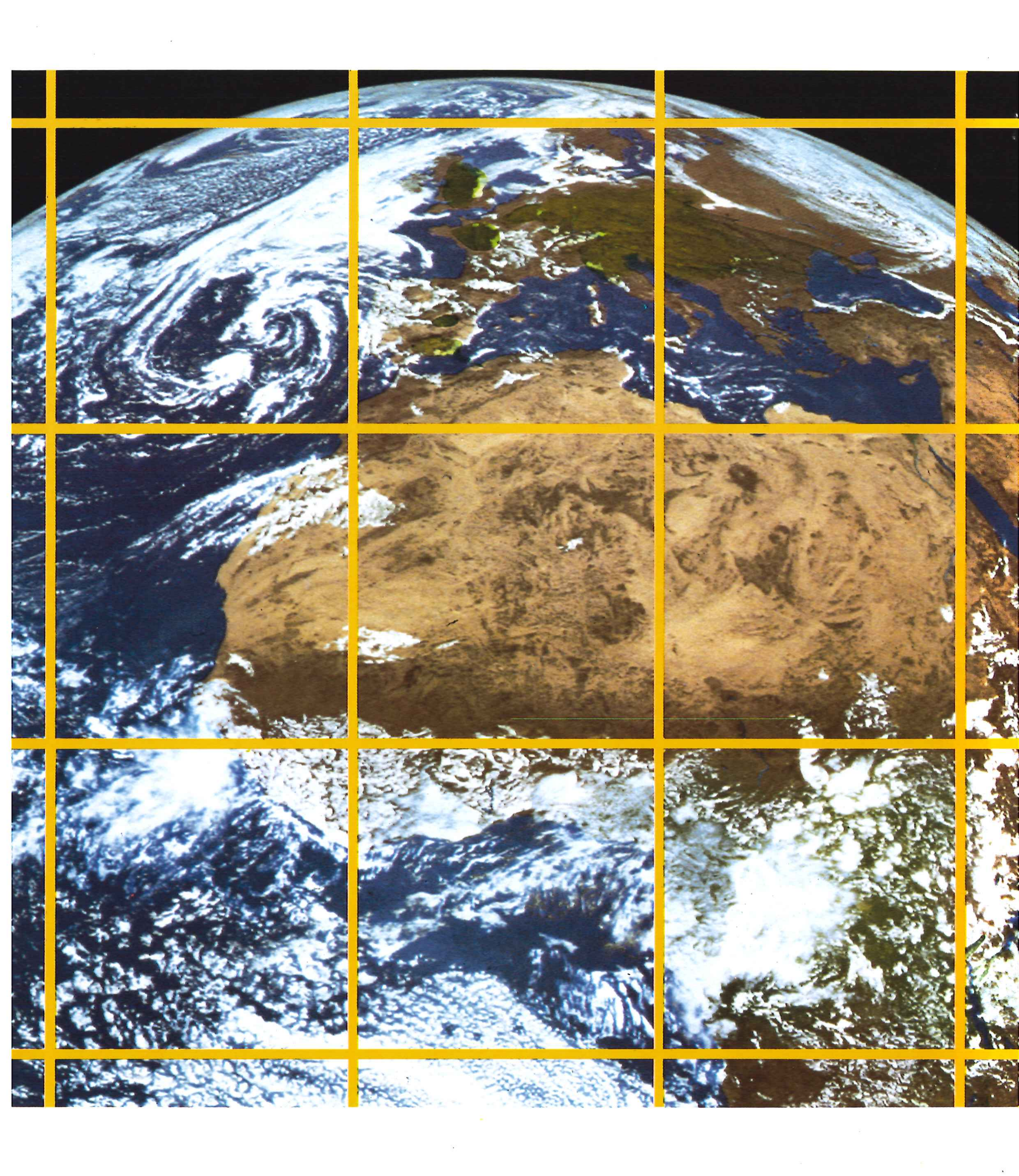
Colloque sur le Projet de Sonde héliocentrique 'Mère/Fille' de la NASA: les objectifs scientifiques.

25-26 mai 1972

Colloque sur l'Importance du projet HELOS (document ESRO SP-87).

Participants venant d'Europe, des Etats-Unis, du Japon.

3



Les applications spatiales dans la vie quotidienne

Dès les débuts de l'ESRO, les débats allaient bon train quant à l'opportunité de confier à une telle organisation le développement de satellites d'applications. Les considérations d'ordre commercial, les intérêts particuliers de certains grands organismes nationaux, les précédents déjà observés aux Etats-Unis, tous les facteurs se sont conjugués pour retarder une prise de décision nette en la matière tout au long des années 60 jusqu'au début des années 70.

L'histoire a montré que l'ESA a un rôle bien défini à remplir en ce domaine; à preuve les systèmes de satellites de météorologie, de télécommunications et d'aide à la navigation maritime qui pourraient fort bien servir de modèles à de futures réalisations technologiques avancées.

L'aptitude de l'ESA à gérer et à orienter les activités de R&D dans le sens des programmes d'applications est désormais un fait acquis, de même que sa capacité de prendre en charge le fonctionnement et l'évaluation des systèmes de satellites dits 'préopérationnels'. Dans certains cas – en particulier celui de Météosat – l'Agence est à même de fournir un service presque 'clé en main' sur lequel on peut bâtir un futur système opérationnel.

Télécommunications spatiales

UN PEU D'HISTOIRE

On entend généralement par 'télécommunications' la transmission d'informations par la mise en oeuvre d'un porteur de nature électromagnétique, par opposition aux services postaux où le porteur est l'homme lui-même. Les télécommunications ont pourtant précédé de beaucoup la découverte de l'électricité et de la radio, et, au 18e siècle, il existait en France un réseau de sémaphore optique à relais qui assurait des liaisons télégraphiques entre Paris et un certain nombre de grandes villes. Ce système fut remplacé un siècle plus tard par le télégraphe électrique inventé par Morse en 1832. A.G. Bell en 1876 fit faire à la technique un pas en avant considérable en réussissant à convertir les vibrations acoustiques en vibrations électriques et en inventant ainsi le téléphone.

Un nouveau porteur de télécommunications apparut sur la scène en 1888 avec la mise en évidence par Hertz de la propagation des ondes électromagnétiques, découverte 25 ans plus tôt par les travaux théoriques de Maxwell. Cet événement marqua le début d'une compétition acharnée entre deux techniques rivales, les télécommunications par fil et les télécommunications sans fil. Alors que le fil avait gagné la première manche en permettant à la télégraphie et à la téléphonie de s'implanter sur la terre ferme, c'est la radio qui enleva la seconde en faisant traverser l'Atlantique à la voix humaine en 1922. Un premier circuit téléphonique fonctionna en ondes longues et d'autres, en ondes courtes, vinrent bientôt s'y ajouter. Pour rattraper son retard, le fil dut faire place au câble coaxial et ce n'est qu'en 1956 que la téléphonie put emprunter un câble sous-marin reliant les Etats-Unis à l'Angleterre.

Pendant près de cent ans, la télégraphie et la téléphonie furent les deux seules techniques utilisées pour le transfert d'information. Vers 1930, deux nouveaux modes de télécommunications firent leur apparition: le facsimile qui permet de copier à distance des images inertes et la télévision, qui, elle, transmet des images animées. Faire traverser l'Atlantique à une image télévisée fut pendant longtemps l'ambition insatisfaite des promoteurs du câble autant que des supporters de la radio. C'est à nouveau la radio qui l'emporta mais il fallut pour cela recourir à une méthode totalement révolutionnaire, le relais des signaux par un satellite artificiel gravitant autour de la Terre. C'est ce qui fut réalisé en 1962 avec Telstar. Deux ans plus tard, en 1964 – il y a exactement vingt ans – commença avec Syncom 3 l'ère des satellites géostationnaires annoncée dès 1945 par A.C. Clarke. Peu après, en 1965, Early Bird, le premier satellite Intelsat, était lancé. Depuis lors, ce satellite et tous ses successeurs ont assuré sans interruption les transmissions de tous types de signaux à travers le monde. Quant au câble, il n'a toujours pas comblé son retard et ce n'est que lorsque le cuivre aura fait place à la fibre de verre que la télévision pourra aussi emprunter ce chemin.

Un clin d'oeil vers l'avenir: expérience de réception de la télédiffusion directe à domicile.



LES TELECOMMUNICATIONS SPATIALES

Les ressources qu'offrent les satellites pour les télécommunications n'ont pas été immédiatement identifiées dans toute leur originalité. C'est la plus évidente qui fut exploitée en premier lieu par la réalisation de liaisons intercontinentales de grande capacité, en particulier pour la transmission de programmes de télévision. Depuis lors, bien d'autres applications nouvelles ont émergé.

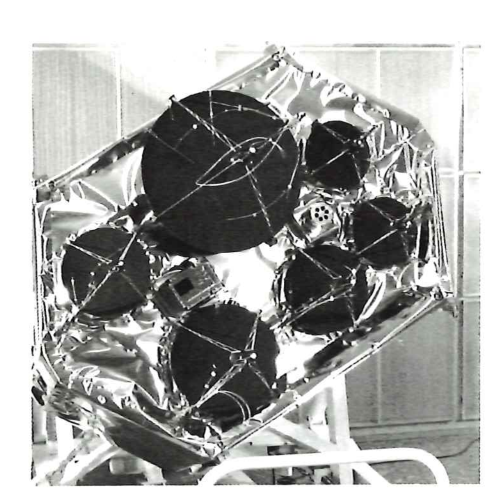


La Conférence spatiale européenne (Bruxelles, 1970), au cours de laquelle fut prise la décision d'entreprendre le programme européen de satellites de télécommunications.

D'un façon générale, on assiste depuis quelques années à une floraison de concepts novateurs qui conduisent à proposer une gamme de services nouveaux tels que le courrier électronique, le videotex et la visiophonie pour le grand public et, pour le monde des affaires et de l'industrie, le télétex, la transmission de données, la télécopie à grand vitesse et la visioconférence sous différentes formes.

Sans aucun doute, cette expansion doit être attribuée aux développements extraordinaires et concomittants que connaissent depuis 1960 les domaines des semiconducteurs, des circuits intégrés, des ordinateurs et des satellites. Les ordinateurs sont devenus capables de manipuler l'information à des vitesses sans commune mesure avec ce qui était monnaie courante auparavant, et de la présenter sous une grande variété de formes. Les satellites, de leur côté, sont aptes à transmettre l'information à des vitesses et sur des distances incomparablement plus grandes que ne peuvent le faire les réseaux terrestres conventionnels. On assiste de plus à une synergie remarquable dans la progression des ordinateurs et des satellites de télécommunications qui se stimulent mutuellement. Il serait impossible de construire et de lancer des satellites sans avoir recours à des ordinateurs et, seuls, ajourd'hui, les satellites sont en mesure de fournir des canaux de télécommunications capables de relier les ordinateurs et de leur permettre d'échanger des données à la vitesse qui leur est propre.

Par la nature même des choses, c-à-d. des caractéristiques qui les distinguent des techniques concurrentes, les satellites sont appelés à jouer un rôle de premier plan dans un certain nombre de domaines déterminés. Pour les télécommunications entre points fixes, ils offrent la possibilité d'établir des liaisons à large bande sur des distances considérables et le fait qu'ils autorisent à la fois l'accès multiple du côté émission et la destination multiple du côté réception permet une commutation aisée de ces liaisons sans l'intervention de centres de commutation.



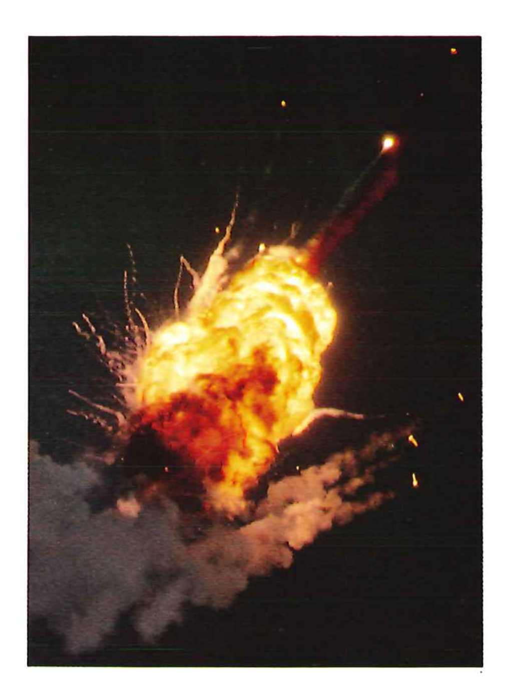
Satellite OTS.

Par ailleurs, ils se prêtent parfaitement aux relais des transmissions des services mobiles, par exemple pour les communications avec les bateaux en haute mer ainsi que pour des liaisons temporaires ou avec des lieux difficilement accessibles. Enfin, le satellite est un véhicule idéal pour la distribution et la dissémination d'informations, dont l'exemple le plus courant est la radiodiffusion de programmes sonores et télévisés.

LES PREMIERES ACTIVITES EN EUROPE

C'est en juillet 1970, suite à une résolution prise par la Conférence spatiale européenne au cours de sa quatrième session à Bruxelles, que le programme européen de satellites de télécommunications ECS fut mis sur pied. Au préalable, plusieurs études exploratoires de satellites expérimentaux avaient été effectuées au sein de l'ESRO; elles avaient été centrées sur la distribution et les échanges de programmes de télévision en Europe mais avaient abouti à des résultats peu encourageants du point de vue de la rentabilité économique. De leur côté, la France et l'Allemagne s'étaient engagées dans le projet Symphonie tandis que l'Italie commençait à construire le satellite Sirio.

Afin de lui assurer la base la plus solide, on décida que le programme ECS aurait pour objet la mise en place d'un réseau à satellite devant satisfaire à la fois les besoins des administrations des PTT en ce qui concerne le trafic téléphonique international en Europe, et ceux de l'Union Européenne de Radiodiffusion (UER) pour son réseau EUROVISION d'échanges de programmes de télévision. Pour rattraper le temps perdu, on choisit également de s'engager résolument dans le développement de technologies de pointe et de passer d'emblée à des fréquences supérieures à 10 GHz afin d'éviter les problèmes d'encombrement rencontrés aux fréquences habituelles des 6/4 GHz.

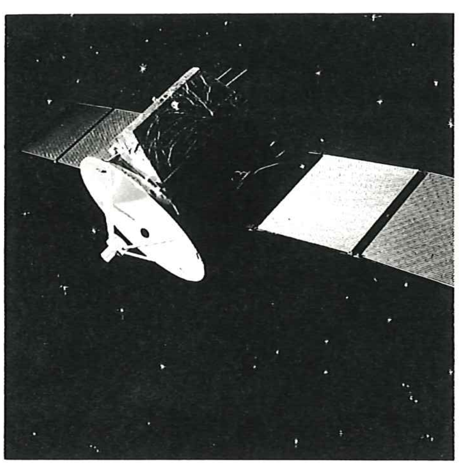




Explosion d'OTS-1 et de son lanceur Delta le 14 septembre 1977.

Lancement d'OTS-2 en mai 1978.

Les activités prirent une tournure plus concrète en 1972 avec la décision de construire le satellite expérimental OTS afin de vérifier la conception retenue pour les futurs satellites opérationnels ECS et de valider les techniques de transmission et les technologies embarquées. En 1973, le projet Marots vint s'ajouter au programme OTS. Son objectif était de développer une version maritime d'OTS qui servirait à des expériences de communications avec les navires en haute mer. Marots devait un peu plus tard perdre son caractère expérimental pour devenir Marecs et assumer un rôle opérationnel dans le réseau INMARSAT.

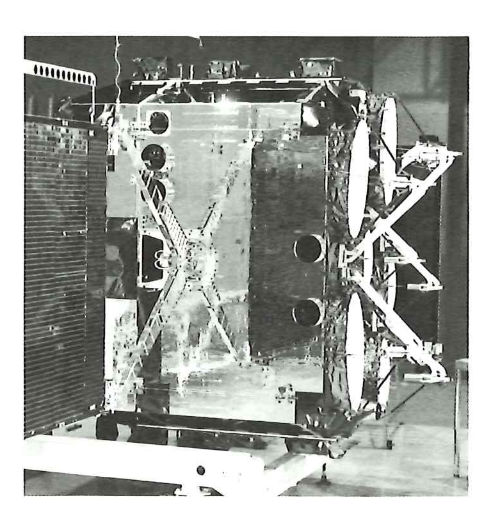


Satellite Marecs.

Le lancement du premier OTS eut lieu en septembre 1977. Il se termina en catastrophe quelques instants après le départ à la suite de l'explosion du lanceur Delta 3914. Huis mois plus tard, en mai 1978, le second modèle de vol était lancé avec succès et placé sur l'orbite géostationnaire à 10° de longitude est. Ce satellite, conçu initialement pour une durée de vie de trois ans, a fonctionné pendant six ans. Après une carrière bien remplie, il a cédé la place au premier ECS (F1) qui fut lancé en juin 1983 par la sixième fusée Ariane et est maintenant devenu propriété d'EUTELSAT. Entre-temps, en décembre 1981, la quatrième Ariane a placé sur orbite au-dessus de l'Atlantique le premier Marecs (A) dont le capacité a été mise à la disposition d'INMARSAT. Marecs-B, lancé par la cinquième fusée Ariane, a malheureusement été perdu à la suite du mauvais fonctionnement de la fusée. Marecs-B2 a, depuis lors, été assemblé et testé; il attend patiemment que son tour vienne d'être lancé.

Alors que Marecs-A est exploité pour la mission qui lui a été assignée depuis le début, c.-à-d. les communications entre stations côtières et navires en haute mer, il n'en est pas de même d'ECS. Celui-ci, on s'en souvient, devait servir exclusivement à l'acheminement du trafic téléphonique intra-européen ainsi qu'aux échanges EUROVISION. Toutefois, dès le début du programme, on s'intéressa activement à des possibilités d'applications moins conventionnelles, en particulier pour des services pouvant tirer parti de l'accès direct des utilisateurs au satellite, sans passer par les grandes et coûteuses stations des PTT. Il s'agissait là de concepts assez révolutionnaires puisque fort peu en harmonie avec les idées des administrations qui étaient, à l'époque, enclines à considérer les satellites comme des moyens complémentaires pour assurer les services traditionnels.

La réalisation de tels concepts commandait qu'il soit possible d'utiliser des stations de taille et de prix beaucoup plus modestes que celles envisagées par les PTT pour le futur réseau EUTELSAT. Il fut donc convenu d'embarquer sur OTS une antenne à grand gain appelée Spotbeam ainsi qu'une charge utile auxiliaire autorisant les expériences en relation avec des nouveaux services et mettant en oeuvre des petites stations. C'est grâce à cela qu'il fut possible de procéder à des expériences de transmission de données (projets STELLA et SPINE) ainsi qu'à la distribution de programmes de TV aux réseaux câblés. Ces expériences connurent un tel succès que les PTT résolurent d'offrir ces services avec les satellites ECS. C'est ainsi que le premier satellite est maintenant consacré presqu'intégralement à la distribution de TV tandis que les quatre suivants seront équipés d'une charge utile auxiliaire semblable à celle d'OTS qui leur permettra d'assurer ce qu'il est convenu d'appeler les 'multiservices', c.-à-d. les services spécialisés entre petites stations installées sur le site même des entreprises ou dans leur voisinage immédiat.


Satellite ECS.

L'apparition des satellites ne s'est pas traduite jusqu'à présent par des manifestations spectaculaires dans la vie de tous les jours encore qu'elle ait eu des conséquences très positives sur la réduction des prix et l'amélioration de la qualité des communications téléphoniques à longue distance, et qu'elle ait rendu courants les échanges de programmes de TV qui alimentent les journaux télévisés dans tous les pays du monde. Toutefois ce sont là des effets dont le grand public n'est en général pas conscient. Dans le secteur des affaires et de l'industrie, c'est seulement aux sociétés de transport maritime et d'exploitation pétrolière que les satellites, en particulier Marecs, ont apporté un service vraiment neuf puisqu'elles peuvent entrer en contact à tout instant par telex ou par téléphone avec leurs bateaux ou leurs plates-formes en mer. Ce service, qui intéresse déjà plus de 2000 stations maritimes est en pleine expansion et s'élargira encore par l'introduction de la transmission de données et d'images, la télécopie, et autres services d'affaires.

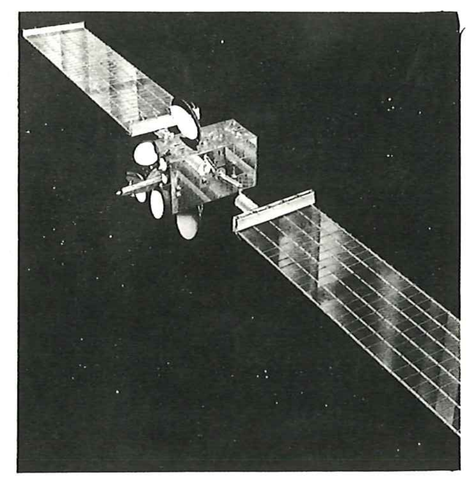
Bientôt, une fois lancé le satellite ECS-F2 qui sera porteur d'une charge utile 'multiservices', l'impact de ces innovations se fera sentir dans tous les autres secteurs de l'industrie et des affaires où l'on appréciera l'utilité des réseaux spécialisés déjà très répandus en Amérique du Nord. Il deviendra alors possible à toutes les entreprises disposant d'établissements dispersés dans différents pays d'Europe de se doter de réseaux privés de transmission numérique à grande capacité permettant l'échange d'informations sous une grande variété de formes telles que téléphonie, télétexte, téléécriture, télécopie, vidéographie, visiophonie et visioconférence. L'ensemble de ces services ne pourrait être assuré aujourd'hui de façon intégrée autrement que par satellite, si ce n'est dans une mesure très restreinte et à une échelle strictement locale.

A côté des réseaux privés, on verra aussi apparaître des nouveaux services de distribution d'informations tels que ceux qui firent l'objet d'expérimentations au sein du projet SPINE ou encore APOLLO, un projet de livraison de documents par satellite actuellement à l'étude. Dans maintes situations, l'information à transférer est de nature tellement volumineuse que son support (document imprimé, image photographique, bande magnétique) ne peut être transmis que par le canal des Postes, avec toutes les manipulations et les délais que cela comporte. Les services de livraison sur commande connaîtront certainement un grand succès, non seulement auprès des entreprises mais aussi des milieux scientifiques, académiques et scolaires ainsi que des organisations gouvernementales et internationales comme les Institutions européennes et l'ESA.

PERSPECTIVES D'AVENIR

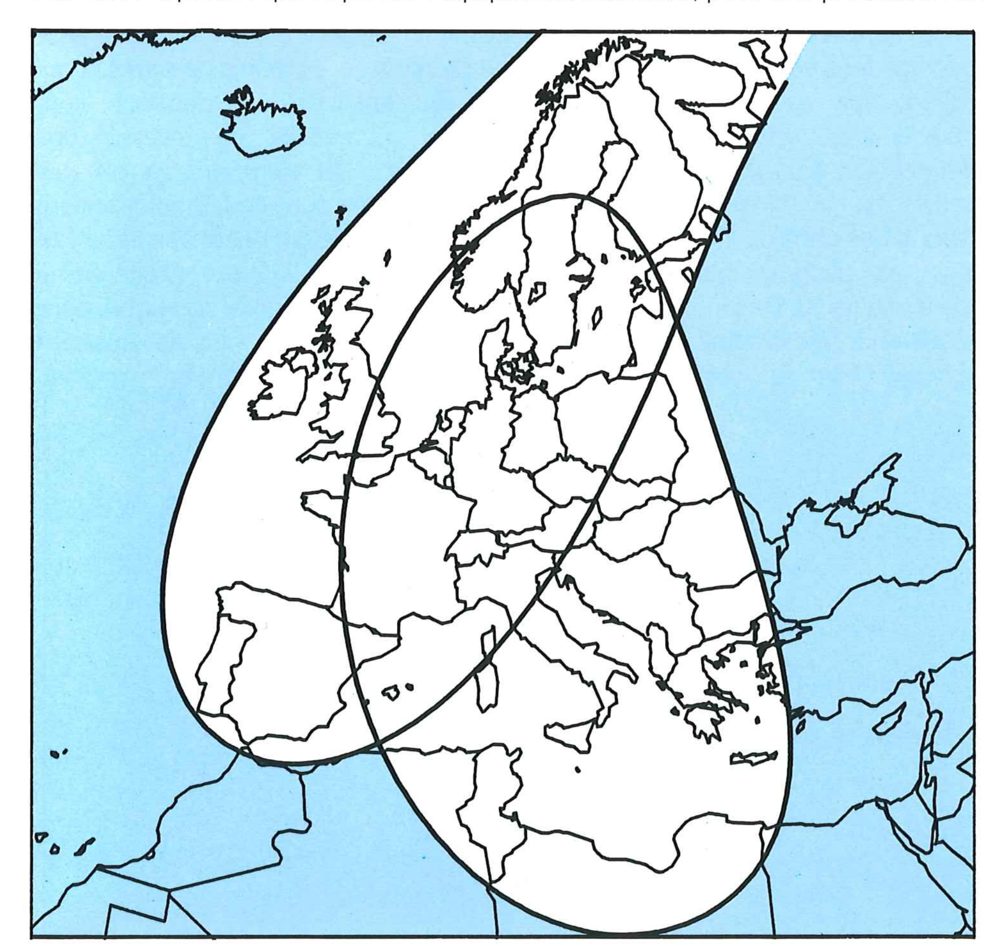
Comme on le voit, ce n'est qu'indirectement que le public a bénéficié jusqu'à présent des avantages que les administrations en charge des télécommunications retirent des satellites. Ces avantages deviendront-ils bientôt plus tangibles et le jour est-il proche où le commun des mortels sera en prise directe avec le satellite? Sans aller jusqu'à imaginer un monde où l'on pourrait communiquer au moyen d'émetteurs/récepteurs du type bracelet-montre, hypothèse qui continuera longtemps à relever de la science fiction, on entrevoit nettement deux possibilités concrètes; la première est la radiodiffusion directe; la seconde est le radiotéléphone pour les véhicules, les bateaux de plaisance et les avions d'affaires et privés.

Il existe actuellement cinq projets de **satellite de radiodiffusion** en Europe, à savoir TV-Sat en Allemagne, TDF-1 en France, Unisat au Royaume-Uni, Tele-X en Suède et le projet Olympus de l'ESA auquel sont associées l'Italie et l'UER. En dépit de cette abondance d'activités, certaines hésitations se sont fait jour récemment et des doutes ont été exprimés quant à l'avenir de cette technique à première vue extravagante et fort coûteuse. Nombreux semblent être ceux qui croient que le développement des réseaux câblés rendra les satellites de radiodiffusion inutiles. Cette opinion est en général fondée sur la croyance qu'un pays entier peut être câblé en quelques années et pour un coût inférieur à celui du satellite. Or il n'en est rien. Les charges financières et l'envergure des travaux sont tels que, selon les prévisions les plus optimistes, le nombre de foyers européens disposant d'un raccordement atteindra dans dix ans au maximum 25 millions, soit un cinquième de la totalité des foyers d'Europe. Il est donc évident que les câbles ne peuvent constituer une solution de rechange aux satellites de radiodiffusion, ni influencer dans un sens négatif leur avenir à court et à moyen terme.



Modèle du satellite Olympus.

L'audience potentielle de la **TV par satellite** est et restera longtemps considérable mais elle ne sera capturée qu'à condition que le service offert soit réellement nouveau, tant par le contenu des programmes que par la qualité technique, et que les frais pour l'usager en soient raisonnables. Pour ce qui est du coût, on s'accorde à penser que le prix de l'équipement individuel, pour une production en

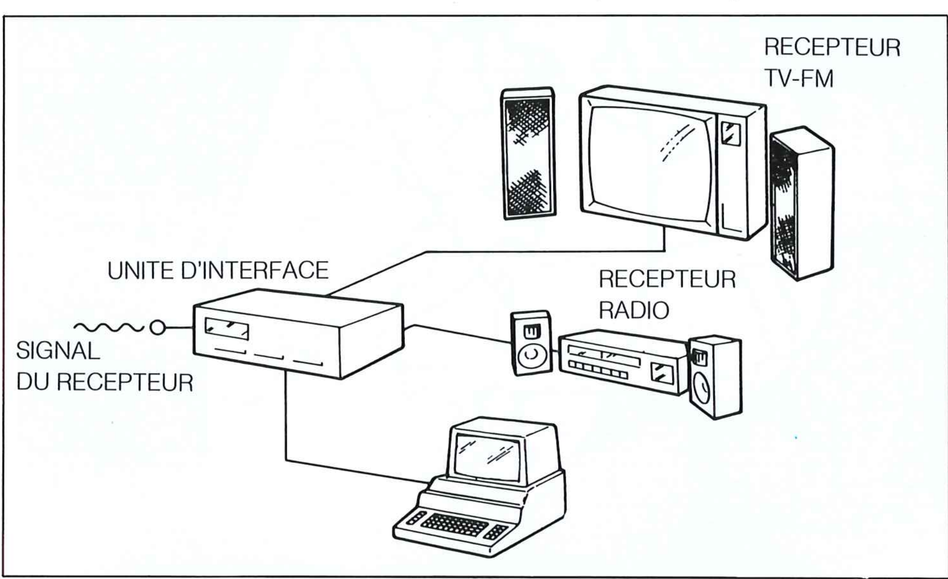


Carte de la zone de couverture pan-européenne d'Olympus.

grande quantité, ne dépassera pas celui d'un téléviseur couleur de haut de gamme et sera nettement inférieur à celui d'un raccordement à un réseau de câble interactif. En ce qui concerne la qualité du service, l'usage d'un satellite combiné avec la transmission du signal selon la nouvelle norme C-Mac/Paquets adoptée par l'UER pour la radiodiffusion directe offre des possibilités d'amélioration et d'expansion quasi illimitées dans le sens d'une plus haute définition de l'image, la projection sur grand écran, la sélection de canaux sonores et de sous-titres multilingues, la musique stéréophonique, le vidéotexte à grande capacité, le journal imprimé électroniquement, la distribution de logiciels et de fichiers de données aux ordinateurs personnels.

La richesse des possibilités offertes par les satellites n'a pas échappé aux professionnels de la télévision et des techniques de l'information. Il reste à espérer qu'ils réussiront à les exploiter au mieux et à proposer au public des programmes originaux, sans doute plus spécialisés et, en tous cas, conçus pour des audiences multinationales. Les premières tentatives dans ce sens sont en cours ainsi qu'en témoignent les différents projets de distribution de programmes via ECS et les travaux de l'UER dont plusieurs organismes membres travaillent activement à la création d'une télévision pan-européenne que le satellite Olympus diffusera à partir de 1987.

Dans le domaine des **télécommunications mobiles**, les perspectives ne sont pas moins attrayantes. Il existe un grand besoin insatisfait dans ce domaine; il concerne tous ceux qui se déplacent à bord de véhicules utilitaires ou privés et qui désirent soit avoir accès au réseau public téléphonique, pendant leurs déplacements, soit pouvoir simplement être en mesure de recevoir des informations particulières telles que des avis d'appel téléphonique ou des instructions sur l'itinéraire à suivre. De pareils services sont certes actuellement disponibles dans certaines régions d'Europe; toutefois ils ont l'inconvénient d'être très limités géographiquement et, dans le cas du radio-téléphone, d'être d'une qualité médiocre. De plus l'insuffisance du spectre de fréquences disponible pour ces services en contrecarre l'essor. Une technique récente, dite des réseaux



Equipement de réception à domicile.

cellulaires, autorise une réutilisation multiple des canaux de fréquences UHF et permettra d'améliorer sensiblement la qualité des communications mobiles et d'accroître considérablement la capacité des réseaux.

Deux problèmes majeurs subsistent cependant. D'une part, les réseaux cellulaires seront en priorité installés dans les zones urbaines où la demande est la plus grande, ce qui laissera d'immenses régions d'Europe sans service pendant de longues années encore. D'autre part, les techniques que l'on se propose d'utiliser dans les réseaux cellulaires varient d'un pays à l'autre et l'on compte déjà en Europe cinq normes différentes et incompatibles. Le voyageur muni d'un radiotéléphone sera donc dans l'impossibilité de l'employer dès qu'il sortira de sa région d'origine, soit qu'il entre dans une zone pourvue d'un système different, soit qu'il traverse une zone interurbaine où aucun système n'est implanté.

C'est ici que le satellite peut intervenir à la fois pour desservir toutes le régions d'Europe non couvertes par les réseaux terrestres et pour réconcilier les différents systèmes nationaux en servant d'interface. Dans le cadre du programme Prosat, l'ESA a entamé une campagne de mesures visant à définir les caractéristiques des liaisons par satellite avec des petits terminaux embarqués sur des véhicules de tous genres. Cette campagne sera suivie de démonstrations de services pilotes qui permettront d'évaluer avec précision l'intérêt qu'ils présentent pour les utilisateurs et de déterminer l'importance du marché des terminaux.

Il y a vingt ans, le premier satellite géostationnaire de télécommunications Syncom 3 entrait en service. Il pesait 75 kg; d'énormes stations terriennes étaient nécessaires pour émettre et recevoir les signaux. Depuis lors, la taille des satellites et leur complexité n'ont cessé de croître; celles des stations, par contre, tendent à se réduire et leur nombre augmente. Au fur et à mesure que ce processus se poursuit et va même en s'accentuant, il devient de plus en plus concevable d'envisager l'utilisation de satellites pour des applications requérant des stations terminales assez petites pour être installées chez l'utilisateur même ou dans son véhicule. L'ère des satellites au service de tous est sur le point de naître. Elle posera aux architectes des systèmes de télécommunciations des problèmes techniques sans précédent; pour l'Europe, et en particulier pour l'ESA, il y a là un formidable défi à relever.



Equipement expérimental pour le projet Prosat.

Météorologie spatiale

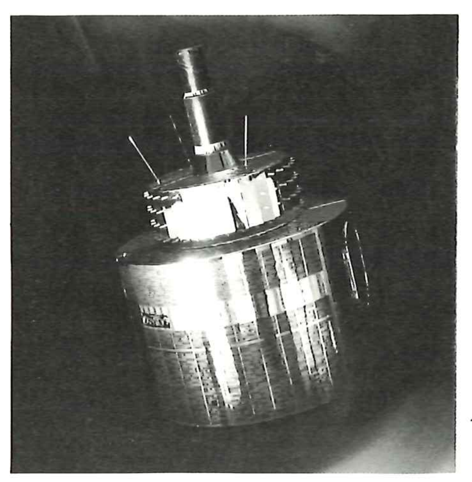
'Périodes ensoleillées avec pluies éparses, temps normal pour cette époque de l'année'. Combien de fois avons-nous entendu ce genre de bulletin météorologique à la radio (ou à la TSF, comme on disait il y a 20 ans)? La prévision semblait souvent confirmer le temps qu'il faisait le jour même (car on avait constaté que le temps de deux jours consécutifs avait un peu plus de chance d'être le même que d'être différent). Les données permettant de prévoir le temps sur l'Europe occidentale étaient limitées à des observations par des navires météorologiques (dans l'Atlantique) et à des comptes rendus donnés par un moyen relativement nouveau et rapide de traverser l'Atlantique, à savoir l'avion à réaction. Comme le 'temps' a tendance, aux latitudes moyennes, à se déplacer d'ouest en est, ces observations formaient la base de la prévision du temps du lendemain. L'Europe de l'Est avait plus de chance: le temps au-dessus de l'Europe occidentale pouvait être observé plus en détail par des ballons, des stations météorologiques etc., et il était ainsi plus facile de prévoir comment il changerait en se déplaçant vers l'est.

Aujourd'hui nous en sommes arrivés à attendre – et à recevoir – des prévisions météorologiques exactes, pas seulement pour le lendemain (faut-il étendre le linge?) mais pour le week-end suivant (pourra-t-on sortir?). Et ces prévisions sont raisonnablement exactes. Le cultivateur doit encore accepter le temps tel qu'il est, mais il peut maintenant programmer efficacement ses activités – savoir jusqu'à quand il peut attendre avant de faire une récolte sans risquer la pluie ou le gel, ou ne pas avoir à arroser car il sait que la pluie viendra bientôt, quand et en quelle quantité. Les trajets suivis par les tornades sont prédits avec exactitude, en avertissant à temps ceux qui se trouvent sur leur passage, réduisant ainsi au minimum les pertes de vies humaines et les dégâts.

Pour bien des gens, la photographie prise par satellite météorologique apparaît chaque soir sur leurs écrans de télévision; et de nombreux téléspectateurs deviennent experts dans l'interprétation de ces photos. Les satellites météorologiques ont révolutionné la prévision du temps au point que des prévisions exactes à long terme de la position et de l'intensité des systèmes météorologiques jusqu'à 15 jours à l'avance peuvent être faites, et sont faites, de manière routinière.

LES PREMIERS SATELLITES

Satellite Météosat.



Les premiers satellites météorologiques furent lancés par les Etats-Unis sur des orbites quasi polaires à l'altitude de 1000 à 2000 km au-dessus de la terre. Il leur fallait une heure et demie environ pour faire le tour de la terre, qui pendant ce temps tournait lentement en dessous d'eux, et en une journée chaque partie de la terre pouvait être observée deux fois. Les instruments de prise d'images dans le visible et dans l'infrarouge furent améliorés, de même que la compréhension du temps, mais le déplacement des nuages en douze heures est si important qu'il est difficile de prédire leur progression à partir d'observations aussi peu fréquentes.

A mesure que l'altitude d'un satellite augmente, le temps qu'il lui faut pour faire le tour de la terre devient de plus en plus long, jusqu'à ce que, à une altitude de 36 000 km environ, il lui faille exactement un jour. Si l'orbite est au-dessus de l'équateur, le satellite accompagne la terre dans sa révolution et semble ainsi 'se balancer' constamment au-dessus du même point (c'est un satellite géostationnaire). Un progrès majeur fut réalisé en 1974 lorsque les Etats-Unis lancèrent un



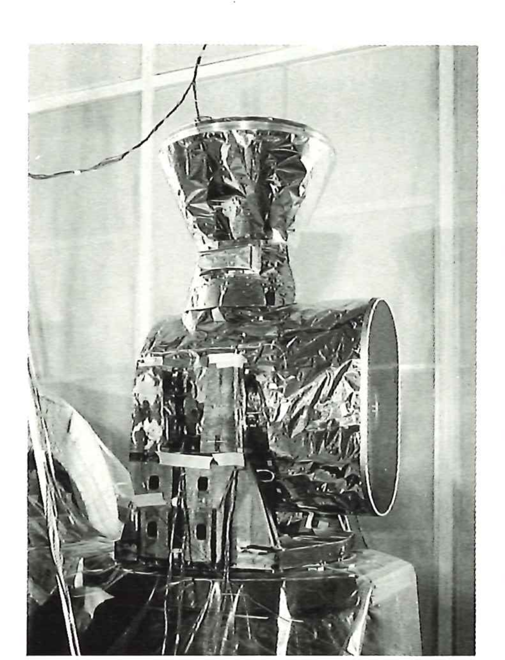
La terre vue par Météosat — une des images les plus répandues en Europe.

satellite météorologique synchrone (SMS-1) pour observer constamment le temps au-dessus de l'Amérique. Des photographies furent prises toutes les trente minutes, et cette suite d'observations dans le temps illustra avec éclat la nature dynamique de l'atmosphère à mesure que les nuages se formaient et se déplaçaient sur une aussi grande partie observée du globe.

METEOSAT

Pendant ce temps, l'Europe n'est pas restée inactive. Les premières études sur les satellites météorologiques géostationnaires furent effectuées en France à la fin des années 1960 et au début des années 1970, et parallèlement le Groupe ad hoc de Météorologie spatiale de l'ESRO envisagea des missions météorologiques possibles. Les deux approches furent associées en 1972 suite à la proposition de la France d'européaniser le projet. Ce qui donna naissance au programme Météosat de l'ESA. Le Bureau du Programme météorologique, et son organe subordonné, le 'Groupe consultatif scientifique et technique' (STAG), furent créés et se virent confier la responsabilité du nouveau programme. L'équipe du projet fut installée à Toulouse.

Le programme Météosat fut conçu en partie comme une contribution de l'Europe



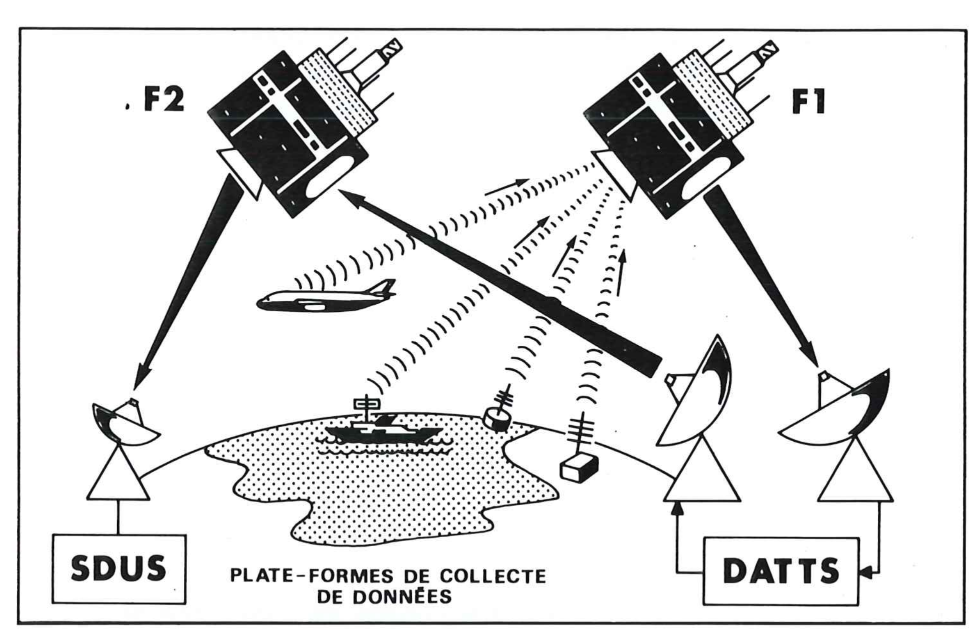
Le radiomètre de Météosat.

à la 'Veille météorologique mondiale' et à la première expérience globale (FGGE) du GARP (Programme de Recherche atmosphérique du Globe). Les Etats-Unis, le Japon et l'Union Soviétique devaient fournir des satellites semblables pour compléter un anneau de cinq satellites météorologiques stationnaires au-dessus de l'équateur (le Météosat de l'ESA au-dessus du premier méridien pour couvrir l'Europe, l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Atlantique est; deux satellites américains, GOES est et ouest pour couvrir le continent américain, l'Atlantique ouest et le Pacifique est; le GMS japonais pour couvrir l'Extrême-Orient, l'Australie et le Pacifique ouest; et le GOMS russe pour couvrir l'océan Indien.

Des études furent effectuées pour définir Météosat en détail. Des images à haute résolution du disque terrestre devaient être acquises toutes les 30 minutes dans les régions visible et infrarouge du spectre (avec des résolutions respectives de 2,5 et 5 km), collectées par une station sol dans l'Odenwald, traitées à l'ESOC et diffusées aux utilisateurs par l'intermédiaire du satellite lui-même. En outre, des moyens étaient prévus pour permettre à Météosat d'acquérir des données en provenance de plates-formes internationales de collecte de données et de diffuser ces données à partir de l'ESOC. Le contrat de développement du satellite fut adjugé à la SNIAS en 1973.

Entre-temps, des études furent conduites sur l'intérêt et la faisabilité de l'addition d'un canal supplémentaire dans la bande infrarouge d'absorption de la vapeur d'eau. Un tel canal verrait des nuages 'invisibles', et compléterait les deux autres canaux en surveillant la répartition et le déplacement des systèmes nuageux. Cette décision a donné à Météosat une capacité unique par rapport aux autres satellites météorologiques, au point que d'autres agences spatiales envisagent maintenant d'en faire autant pour leurs prochains satellites.

Après de nombreux et laborieux travaux, la première unité de vol put être lancée avec succès le 23 novembre 1977. Le 7 décembre suivant, le satellite se trouvait à poste au-dessus du premier méridien, et les premières images furent acquises peu

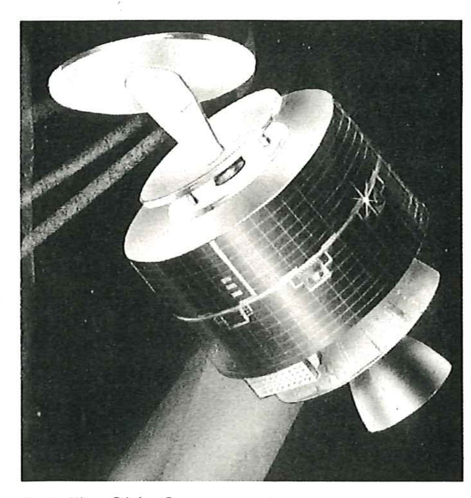


Utilisation des deux satellites Météosat pour la collecte et la diffusion de données.

après. Météosat-1 continua à fournir des images à haute définition toutes les 30 minutes sur ses trois canaux pendant deux ans, jusqu'à ce qu'une panne d'un petit composant mette fin à cette partie de la mission. Néanmoins, la plate-forme de collecte de données ne fut pas affectée et fonctionnait encore au début de 1984: plus de six ans de fonctionnement.

Le second modèle de vol, Météosat-2, fut lancé avec succès en juin 1981 (en tandem avec le satellite indien APPLE) à bord du premier vol d'Ariane. Les missions de prise d'images et de dissémination de données ont fonctionné depuis lors, réparant la perte des missions sur Météosat-1. La plate-forme de collecte de données de Météosat-2 n'a par contre pas fonctionné. Cependant, comme Météosat-1 a continué à fournir ce service, les deux satellites accomplissent ensemble la totalité de la mission.
Les données envoyées depuis l'ESOC aux utilisateurs par l'intermédiaire de Météosat ne se limitent pas à ces trois canaux d'images, mais ont été traitées pour fournir des produits supplémentaires comprenant:

- vecteurs mouvement de nuages,
- altitudes du sommet des nuages,
- température de la surface de la mer.



Satellite Sirio-2.

PROGRAMME METEOSAT OPERATIONNEL

Le succès du programme Météosat dit 'préopérationnel' a préparé le terrain pour le programme météorologique opérationnel qui fut définitivement établi en 1983 et qui fournira trois autres satellites; les lancements sont programmés pour 1987, 1988 et 1990. Ces derniers sont conçus pour assurer la continuité des données jusqu'à 1995, notamment à partir de 1988, alors qu'il devrait y avoir plus d'un satellite opérationnel en orbite à titre de sauvegarde en cas de pannes. En outre, le second satellite prototype (P2) sera remis en état aux normes de vol et sera lancé en 1985 sur le premier lancement d'Ariane-4 pour combler l'intervalle de temps entre les satellites préopérationnels actuels et le lancement de la première unité opérationnelle en 1987.

Les Etats-Unis, le Japon et l'Inde ont tous des satellites météorologiques géostationnaires en service. D'ores et déjà, les Américains envisagent des améliorations à apporter à leur prochaine génération de satellites. Etant donné qu'il faut quelque cinq à six années pour étudier la conception détaillée, la mise au point et la fabrication de tels satellites, il sera bientôt temps de décider ce qui doit être repris de Météosat à la fin du Programme opérationnel de l'ESA. A cette fin, des études préliminaires sur diverses options pour un Météosat de seconde génération ont déjà été menées à bien. A ce stade, après vingt années de coopération européenne dans l'espace, il est agréable de constater que le succès du satellite météorologique européen l'a transformé en un programme opérationnel à long terme, l'étude détaillée de la prochaine génération étant déjà bien en main.
Grâce à de tels satellites, la prévision météorologique, qui était un art, est devenue une science, avec sa capacité de prévoir le temps plusieurs jours à l'avance; de suivre la trajectoire de violentes tempêtes et de tornades, et de contribuer à atténuer les pertes en vies humaines, le nombre des blessés et l'ampleur des dégâts.

SIRIO-2

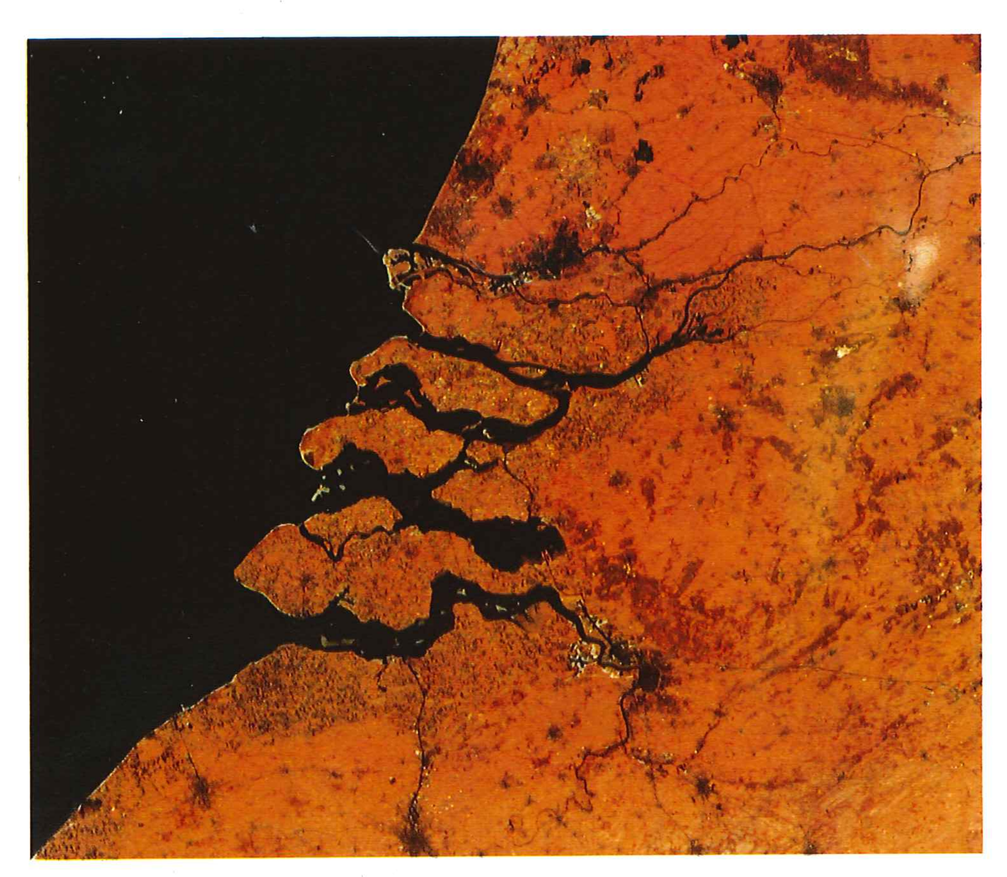
Un programme de satellite apparenté fut établi au sein de l'Agence en 1978, celui de Sirio-2, avec deux missions. La première, dite mission de 'dissémination de données météorologiques' ou MDD, fut conçue pour fournir les moyens permettant de collecter, d'acheminer et de transmettre des données météorologiques par satellite géostationnaire à l'aide de stations sol peu coûteuses. Convenant particulièrement bien aux pays en voie de développement, elle devait faire ses preuves en Afrique. La seconde mission, dite mission de 'synchronisation laser à partir d'orbite synchrone' ou LASSO, devait permettre la synchronisation des horloges des stations participantes équipées de lasers appropriés, au moyen de satellites géostationnaires, avec une précision de moins d'une nanoseconde. Cette précision est très difficile à atteindre par des moyens classiques entre des stations situées sur des continents différents.

Le satellite Sirio-2, financé essentiellement par l'Italie, et mis au point par le CNS de Rome, fut malheureusement victime, de même que Marecs-B, de l'échec du lancement Ariane L05 en 1982. Bien qu'aucun satellite de remplacement ne soit prévu, tout n'est pas perdu. On envisage d'inclure la mission LASSO sur le satellite Météosat P2 à lancer en 1985, et si ce projet se concrétise, il permettra à l'expérience LASSO de se dérouler comme prévu. En outre, on a également envisagé de faire voler LASSO à titre de compagnon de Popsat, un futur satellite géodésique qui a fait l'objet d'études poussées. L'orbite prévue serait idéale pour fournir un service mondial de synchronisation précise de l'heure.

Télédétection des ressources terrestres

Le 28 novembre 1983, le Laboratoire spatial de l'ESA (Spacelab) fut mis sur orbite terrestre basse par la 'Navette'. Une des expériences embarquées, une chambre photogrammétrique, a recueilli un grand nombre d'images couleur à haute résolution et d'excellente qualité de nombreux points de la surface terrestre. Ces photographies contiennent une richesse de détails que l'on n'avait pu obtenir jusqu'à présent à bord de satellites.

La surveillance des terres émergées, des océans et des surfaces glaciaires à partir de l'espace (ce que l'on appelle la télédétection) est encore dans l'enfance, mais se développe rapidement. L'avantage d'une seule vue synoptique d'une région fut acquis lorsque des caméras furent montées sur les premiers vols en ballon. Cependant, la difficulté de positionner des ballons au-dessus de zones-cibles, combinée avec leur mouvement oscillant et souvent des caméras et des films à performances médiocres, n'a jamais permis de passer à l'exploitation. Les aéronefs devinrent les premières plates-formes pratiques d'observation de la terre, et c'est avec l'utilisation systématique de la photographie aérienne stéréoscopique pour la cartographie topographique à la fin des années 1940, que la télédétection a vraiment débuté. Les progrès réalisés dans les pellicules couleur, le perfectionnement des caméras et l'utilisation d'altitudes plus élevées ont conduit à l'exploitation des données à des fins d'applications pratiques allant au-delà de la cartographie pure et simple, par exemple inventaire des récoltes et des forêts, détection des maladies de la végétation, surveillance de la fonte des neiges pour le contrôle des crues. Cependant, il était clair que les aéronefs n'étaient pas



La Hollande du sud vue par Landsat.

pratiques pour fournir des données de routine sur des superficies couvrant un pays dans sa totalité. Les premiers satellites, portant des caméras de télévision, fournirent les premières images du globe terrestre. A mesure que les instruments embarqués se perfectionnèrent, l'avantage de l'utilisation de telles images pour des applications pratiques augmenta. Cela fut particulièrement mis en évidence par les photographies prises lors des premières missions spatiales habitées.

La mise sur orbite polaire de satellites météorologiques expérimentaux donna des images de plus en plus intéressantes. Cependant, ce ne fut pas avant l'avènement du programme américain Landsat, avec ses images de haute qualité, que la télédétection à des fins de surveillance de routine devint une réalité.

LANDSAT

Les satellites Landsat, dont le premier fut lancé en 1972, contenaient deux instruments destinés à fournir des images (ou des photographies) de haute qualité à différentes longueurs d'onde dans la partie visible et infrarouge du spectre, avec une résolution allant jusqu'à 80 m. Cela permet de distinguer des domaines individuels, de tracer de grandes routes, d'identifier des essences forestières et de surveiller la pollution. Le potentiel d'un tel satellite évolué fut rapidement réalisé, et un à un des pays extérieurs aux Etats-Unis créèrent leurs propres stations réceptrices afin d'obtenir des données au-dessus de leur propre pays. Le Canada lança le mouvement, suivi par le Brésil; l'Europe suivit peu après, l'Italie créant sa propre station de réception à Fucino au milieu des années 1970.

Le détroit et le port de Calais vus par Seasat en 1978. On distingue nettement les sillages de navires.



EARTHNET

Les avantages et l'exploitation possible de la télédétection furent perçus dès les premières années de l'ESA. Son 'Groupe consultatif du programme de Télédétection', créé à titre d'organe consultatif délégué en 1976, explora le rôle que la télédétection pourrait jouer dans le programme de l'Agence. L'établissement du programme Earthnet qui s'ensuivit en 1977 (initialement à titre de programme facultatif, mais il est depuis devenu obligatoire) représenta la première étape de l'exploitation des techniques spatiales pour la télédétection. Le programme Earthnet acquiert, traite et distribue des images et des données de télédétection par satellite. La station italienne de Fucino a fourni les premières données de Landsat à Earthnet. Elle est maintenant intégrée dans le réseau Earthnet, ainsi que les stations réceptrices d'autres Etats membres. Un 'Bureau du Programme Earthnet' fut créé au sein de l'ESRIN, avec une grande partie de ses moyens de traitement.

Peu après, d'autres stations de réception furent ajoutées. Une station Landsat fut créée à Kiruna et entra en service en 1979 pour assurer la couverture de l'Europe septentrionale.

Une série d'autres satellites de télédétection lancés par les Etats-Unis furent jugés d'une importance suffisante pour justifier la création d'une capacité de réception en Europe au sein du réseau Earthnet. Le plus remarquable de ces satellites fut Seasat. L'un des problèmes posés par la mise en oeuvre de la télédétection dans les parties visible et infrarouge du spectre est qu'elle est tributaire du beau temps, qui, nous le savons tous, est loin de constituer la norme en Europe (surtout en Europe du Nord). Le radar, en revanche, 'voit' à travers les nuages. Un instrument primordial monté sur Seasat était le 'radar à ouverture synthétique' (SAR) capable

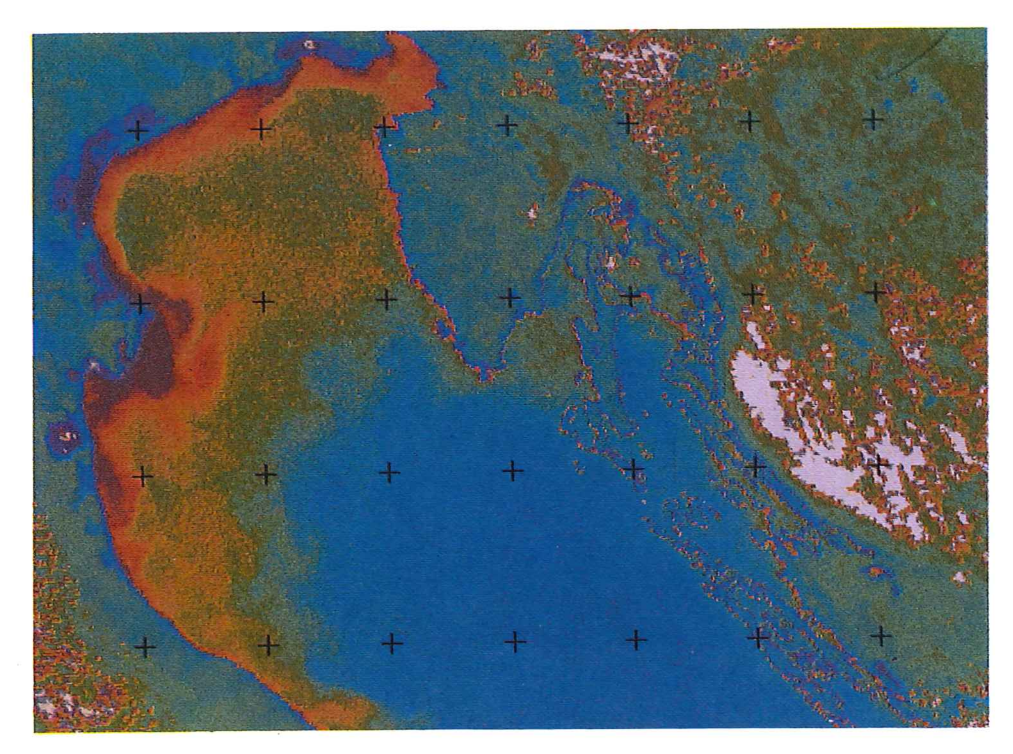


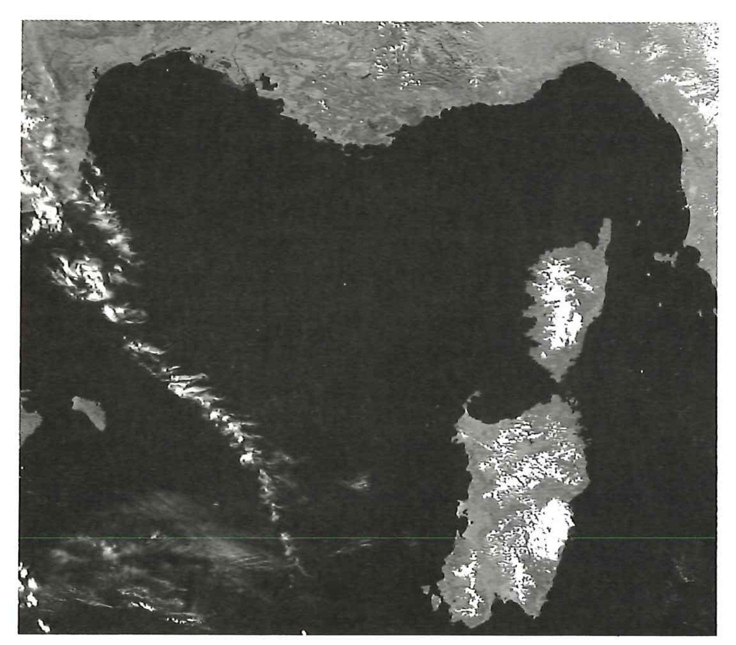
Image en fausse couleur du lagon de Venise prise par l'instrument CZCS de Nimbus-7 dans les bandes 1, 2, 3 (bleu, vert, rouge), faisant apparaître la concentration de chlorophylle en mg/litre.

de couvrir des superficies d'une centaine de kilomètres de large avec une résolution n'excédant pas 25 m. Sa capacité 'tous temps' était si importante que dans sa vie relativement brève de cent jours en 1978, il fournit des données suffisantes pour assurer une couverture complète de la plus grande partie de l'Europe, plus complète dans bien des cas que celle fournie par Landsat après plus de six années d'opération, à cause des nuages. Une station de réception Seasat fut installée à Oakhanger (Grande-Bretagne), et le processeur spécial nécesaire au traitement des données du SAR fut installé à Oberpfaffenhofen (Allemagne).

Un équipement de réception fut également installé pour le satellite Nimbus-7 de la NASA à Lannion (France) en 1978, pour acquérir des données multispectrales dans le visible et l'infrarouge au-dessus des océans, permettant de déterminer la qualité des eaux de l'océan, d'acquérir des données multifréquence au moyen d'un radiomètre hyperfréquence, en vue, notamment, de surveiller par tous les temps la température de surface et l'état de la mer et de cartographier la banquise et le manteau neigeux. Une seconde station de réception fut ajoutée à cette fin à Las Palomas, dans les îles Canaries, en 1982.

Un équipement supplémentaire fut ajouté à Lannion en 1978 pour acquérir des données du satellite de la 'Mission de cartographie thermique' (HCMM) de la NASA.

Landsat-4, le satellite le plus récent de la série, lancé en 1982, non seulement poursuit la mission de 'balayage multispectral' (MSS) mais, ce qui est plus important, ajoute une capacité améliorée grâce à la mission de 'cartographie thématique' (TM) – avec une résolution de 30 m et des bandes spectrales supplémentaires. Les stations de Kiruna et de Fucino ont toutes deux été



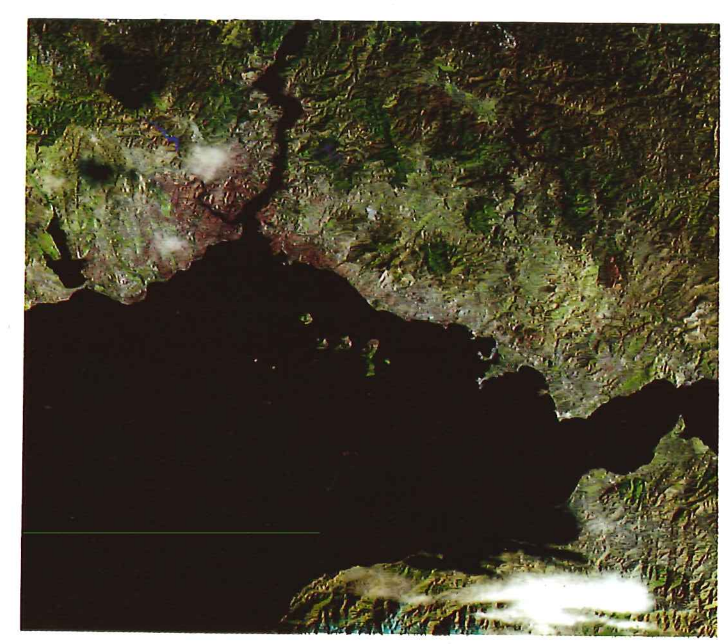


Image de la Corse et de la Sardaigne prise par le satellite HCMM dans le canal 'visible'.

Image fausse couleur du détroit du Bosphore prise par l'instrument de 'cartographie thématique' de Landsat-4.

Le réseau Earthnet

Satellites	Durée de vie	Type de détecteur	Station réceptrice
Landsat -1, -2,-3,-4, -5	1972 à mi-1987 (prévu)*	– Détecteur multi-spectral (MSS) – Vidicon à retour de faisceau (RBV) sur Landsat-3 – Cartographie thématique (TM) sur Landsat 4,5**	Fucino, Italie (depuis 1975) Kiruna, Suède (depuis 1978)
Seasat	26/6/78 à 9/10/78	– Altimètre – Diffusiomètre – Radar à synthèse d'ouverture (SAR) – Radiomètre à balayage hyperfréqu. multicanaux (SMMR)	Oakhanger (R-U) Traitement de données SAR à: – DFVLR (Allemagne) – RAE (R-U)
HCMM	26/4/78 14/9/80	Radiomètre IR thermique à balayage bi-canal	Lannion (France)
Nimbus-7	24/10/78 à fin 1984 (prévu)	– Détecteur 'couleur des océans' (CZCS) – Radiomètre (SMMR)	Lannion (France) depuis 1978 Mas Palomas (Espagne) depuis 1982

* TM: échec sur Landsat-4 en février 83

** Landsat-5: en orbite depuis le 1er mars 84.

améliorées pour acquérir ces données pour l'Europe, et continueront à remplir cette fonction lorsque le successeur, Landsat-5, sera lancé dans un proche avenir. (Landsat-5 devrait être en orbite lorsque le présent rapport sera publié).

Une expérience très réussie fut effectuée en 1981 et 1982 (dans le cadre de l''Expérience du réseau informatique spatial' – SPINE) utilisant le satellite OTS de l'ESA pour transmettre directement des données de télédétection de la station de réception de Kiruna à la RAE en Grande-Bretagne, en vue de son utilisation en temps utile pour des applications agricoles.

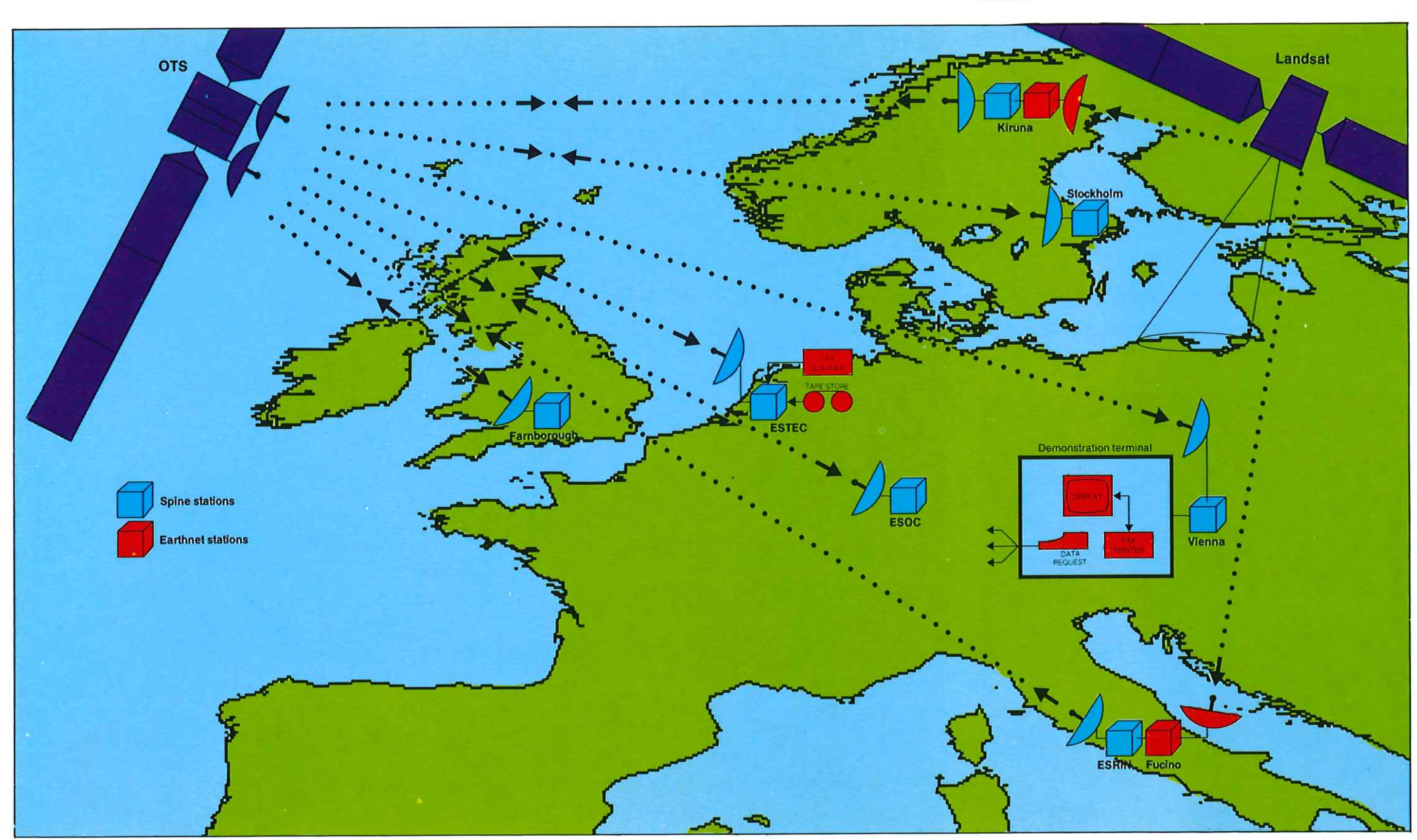
TELEDETECTION A BORD DE SPACELAB-1

Une démarche de l'Europe pour fournir ses propres segments spatiaux de télédétection commença à aboutir en 1978, d'une part dans le cadre de l'exploitation de Spacelab, d'autre part en vue du déploiement de satellites automatiques.

Dans le premier cas, l'ESA accepta l'offre de l'Allemagne de fournir deux expériences de télédétection pour la 'Première charge utile Spacelab' (FSLP): la 'Chambre photogrammétique' et l''Expérience de télédétection hyperfréquences'.

La **Chambre photogrammétrique** était une caméra cartographique habituellement utilisée sur les aéronefs pour la cartographie topographique et la

Schéma de fonctionnement du réseau SPINE pendant la Conférence UNISPACE 1982.

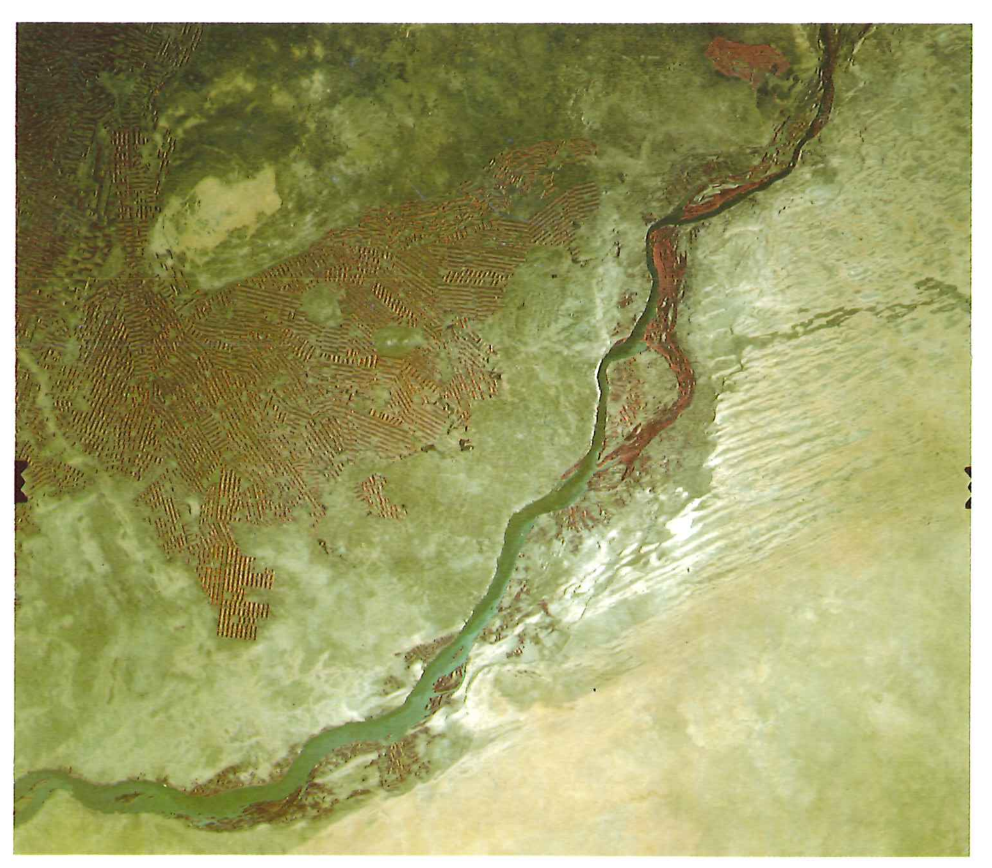


télédétection, mais modifiée pour s'adapter à Spacelab. Avec des films de 23 × 23 cm et une distance focale de 30 cm, elle fournit directement des images à une échelle comprise entre 1:50 000 et 1:100 000 à partir de l'altitude normale du tandem Navette/Spacelab, avec une résolution de l'ordre de 20 m.

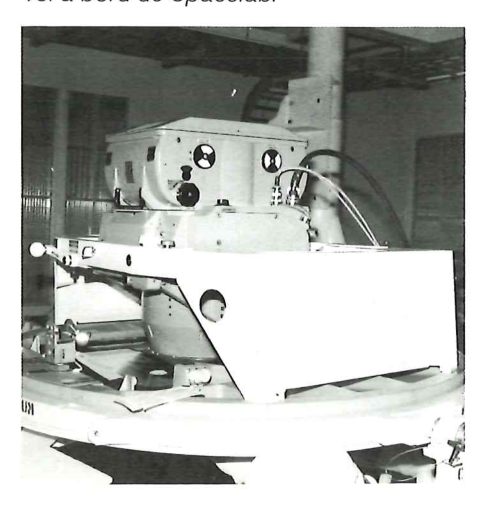
Le vol de la chambre photogrammétrique à bord du premier Spacelab en novembre-décembre 1983 fut couronné de succès et rapporta plus d'un millier d'images. Un grippage dans le déroulement de la pellicule fut réparé avec succès par les spécialistes de la charge utile qui se trouvaient à bord, lesquels improvisèrent une chambre noire qui leur permit de décoincer et de recharger le magasin de la caméra défectueuse. L'intérêt particulier de cette mission, par rapport aux scanners mécaniques optiques du type Landsat, est que les images successives se chevauchent jusqu'à 80% et peuvent être utilisées en stéréoscopie pour obtenir des cartes topographiques sur des machines de levé standard. Cela présente une importance pratique pour les zones du monde qui ne sont pas suffisamment cartographiées, ainsi que pour la mise à jour des cartes existantes dans d'autres zones.

L'**Expérience de télédétection en hyperfréquences (MRSE)** avait trois modes de fonctionnement:

- comme radar de prise d'images (ou à ouverture synthétique) pour produire des images tous temps de 24 mètres de résolution;
- comme diffusiomètre pour mesurer le spectre directionnel des vagues de l'océan;



Une des nombreuses images rapportées par la Chambre photogrammétrique embarquée sur Spacelab-1: la région du Nil blanc au Soudan avec ses champs de coton et de millet.



La Chambre photogrammétrique aux essais au Centre spatial Kennedy avant son vol à bord de Spacelab.

- comme radiomètre à hyperfréquences pour mesurer la température de brillance de la surface de la terre (océans, terres émergées, forêts, etc).

Malheureusement, les deux premiers modes (appelés modes actifs) ne purent fonctionner de manière satisfaisante, mais 166 minutes de données furent acquises avec succès dans le troisième mode.

La Chambre photogrammétrique et la MRSE seront probablement toutes deux réembarquées sur la mission EOM-1 d'observation de la Terre par Spacelab à la mi-1985.

PROGRAMME PREPARATOIRE DE TELEDETECTION

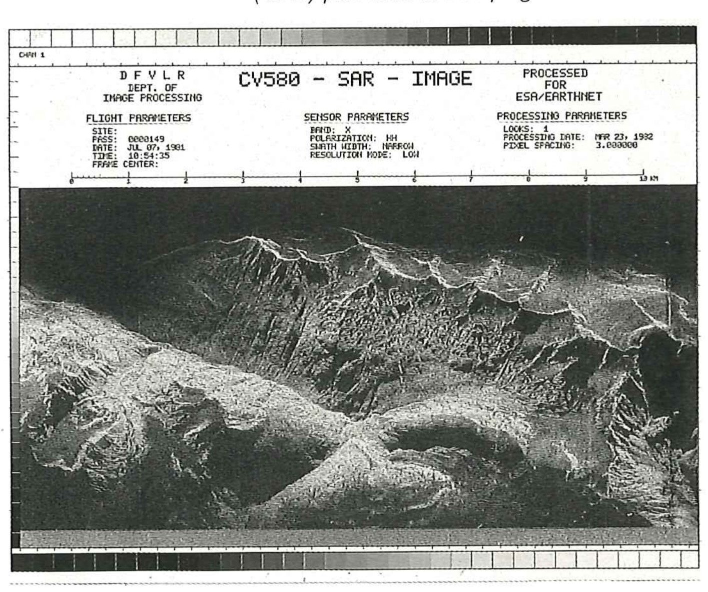
Les premiers pas en direction de l'établissement d'un satellite européen indépendant de télédétection furent faits à la fin des années 1970 avec la réalisation de l'importance des radars à ouverture synthétique tous temps pour les applications océaniques et terrestres en Europe. Cela fut renforcé par les résultats prometteurs obtenus avec ce type d'instrument sur le satellite américain Seasat. Les résultats des études initiales de l'ESA sur un tel instrument pour l'Europe constituèrent les principaux éléments de deux études de faisabilité, effectuées en 1978–79, de deux types de satellites européens de télédétection:
- le 'système de satellite de surveillance des côtes océaniques' (COMSS)
- le 'système de satellite d'applications terrestres' (LASS).

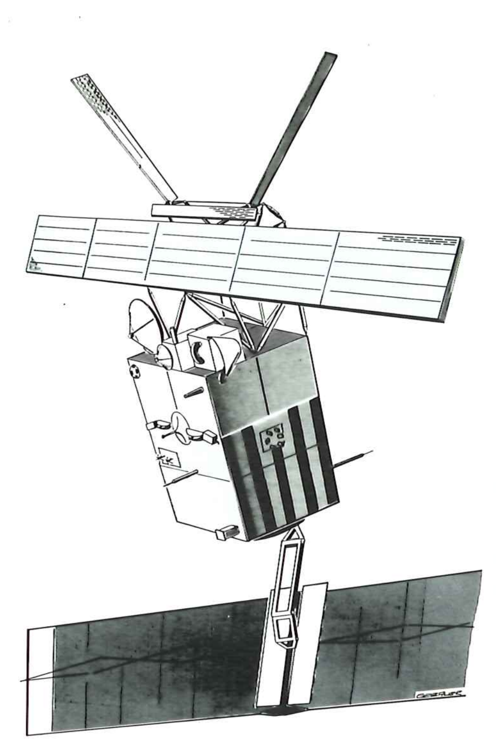
Les problèmes technologiques qu'il fallut résoudre pour réaliser les instruments de détection destinés à ces satellites conduisirent à l'établissement par tous les Etats membres, en 1979, d'un nouveau programme facultatif, le 'Programme préparatoire de télédétection' (RSPP), pour explorer plus en profondeur les technologies nécessaires, et pour mettre préalablement au point les composants critiques nécessaires. Ce programme, auquel le Canada et la Norvège se joignirent ultérieurement, fut poursuivi en 1982.

L'avion Convair utilisé pour la campagne SAR 580.

Image de la région d'Oetztal (Allemagne) prise par le radar à synthèse d'ouverture (SAR) pendant la campagne SAR 580.







Modèle du satellite ERS-1.

Une composante importante du RSPP fut la conduite d'une campagne d'aéronefs (financée conjointement par l'ESA et le JRC), au cours de l'été 1981, pour tester les concepts du radar à ouverture synthétique en bande C, qui était envisagé pour les satellites européens de télédétection. Un appareil canadien (un Convair 580), équipé d'un SAR opérant en bandes C, X et L, couvrit 52 sites d'essai européens au cours de ses 120 heures de fonctionnement. Les données furent traitées en Europe et distribuées par le Bureau du Programme Earthnet.

ERS-1

Parallèlement au RSPP, le Conseil directeur du Programme de télédétection envisagea les différentes options pour le premier satellite européen de télédétection, baptisé ERS-1. Dans un premier temps, il fut décidé de se concentrer sur les applications océaniques. Diverses études explorèrent les différentes combinaisons d'instruments et les missions résultantes qui pouvaient être envisagées compte tenu des limites du véhicule de lancement Ariane et de la plate-forme choisie (la même que pour le satellite français SPOT). On se mit d'accord en 1981 sur la configuration finale, qui devait comprendre:

- une instrumentation hyperfréquence active (AMI) combinant les fonctions suivantes:
  - radar à ouverture synthétique (pour l'imagerie tous temps des glaces, des océans, de la pollution, et, à titre expérimental, des terres émergées);
  - diffusiomètre vagues pour déterminer la longueur d'onde et la direction des vagues de l'océan;
  - diffusiomètre vents pour déterminer le champ des vents juste au-dessus de la surface des océans;
- un altimètre radar, pour déterminer la hauteur des vagues des océans.

A cela furent ajoutés deux instruments d'expérience (choisis après appel d'offres), à fournir par des pays membres à titre individuel:

- un radiomètre à balayage dans le sens de déplacement du satellite (ATSR), fourni par le Royaume-Uni, permettant de déterminer la température précise de la surface de la mer. Une section supplémentaire du radiomètre de sondage à hyperfréquence, devant être fournie par la France, déterminera la hauteur de la colonne de vapeur d'eau au-dessous du satellite, pour corriger les données de l'altimètre;
- un équipement de télémétrie et de vélocimétrie de précision (PRARE) fourni par l'Allemagne, permettant de déterminer avec précision l'orbite du satellite afin que l'altimètre puisse être utilisé pour déterminer la topographie de la surface des océans.

En outre, un enregistreur à bande magnétique de bord devrait permettre d'acquérir des données concernant les vents, les vagues et l'état de la mer, à partir de zones des océans situées à l'extérieur du cercle de couverture des cinq stations de réception au sol.

La résolution habilitante du programme ERS-1 fut approuvée par le Conseil à la fin de 1981, et avec la déclaration en faveur de la phase suivante, souscrite au début de 1982 par dix Etats membres plus le Canada et la Norvège, la phase de définition détaillée du satellite et du segment sol (appelée 'phase B') fut entreprise en 1982 et 1983 par un consortium mené par Dornier System.

A partir des résultats de cette phase, la proposition de programme pour la mise au point, la fabrication, le lancement et l'exploitation du système ERS-1 a été soumise aux participants potentiels. La souscription au programme ERS-1 dans la première moitié de 1984 devrait conduire à un lancement en 1988, suivi d'une période de deux années d'exploitation en orbite à titre de démonstration préopérationnelle d'un système opérationnel de satellite de surveillance des océans. Tandis que les délégués considèrent la proposition, une extension de la phase B permet aux équipes industrielles clés de se concentrer sur les secteurs critiques et sur les éléments à long délai de livraison.

La résolution habilitante déclara expressément qu'ERS-1 devait être le premier d'un programme continu de satellites d'observation de la terre. Des mesures préliminaires ont déjà été prises en faveur de la préparation de programmes ultérieurs. Par exemple, dans le secteur de la surveillance des océans, il y a eu un travail préparatoire au sein du RSPP pour étudier, définir et mener à bien les recherches technologiques préliminaires pour une capacité de surveillance de la couleur des océans, en tant qu'instrument supplémentaire d'une éventuelle seconde unité de vol d'ERS-1. Une telle capacité permettrait de mener à bien la surveillance et la cartographie de la pollution des océans, de la teneur en chlorophylle, des sédiments en suspension et de la température superficielle des océans.

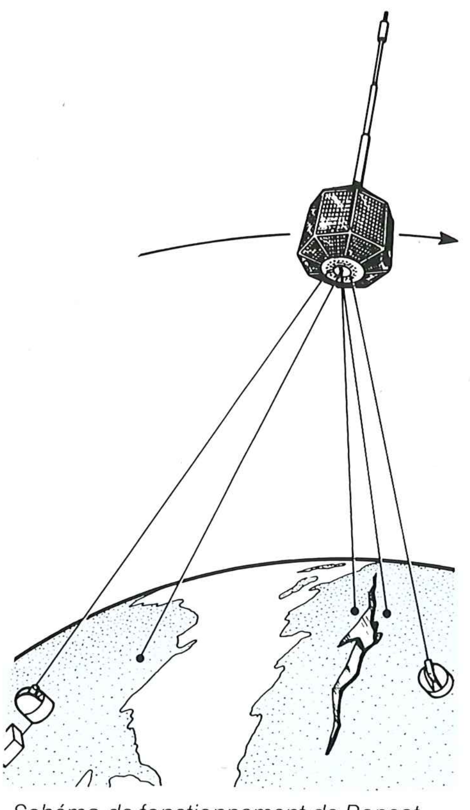


Schéma de fonctionnement de Popsat.

SATELLITES FUTURS

Avant et pendant le déroulement du RSPP, un satellite d'applications terrestres a été étudié. Des études plus récentes se sont intéressées à l'instrumentation nécessaire pour un satellite évolué d'applications terrestres tous temps au début des années 1990, qui assurerait la surveillance des récoltes et la prévision de leur rendement, l'inventaire des forêts, la détection des maladies des récoltes et des forêts à un stade précoce, la surveillance de l'écoulement potentiel de neige et de glace, l'obtention de données cartographiques et géologiques pour aider à la prospection des ressources naturelles.

D'autres études se sont intéressées au rôle potentiel du satellite géodésique Popsat pour la détermination précise (à quelques centimètres près) du déplacement des plaques tectoniques de la terre et de l'accumulation et de la redistribution des tensions dans les zones sujettes aux tremblements de terre, à titre de contribution à la recherche sismologique et à l'atténuation de ses conséquences.

D'autres études se sont intéressées au rôle des satellites pour surveiller le climat et les constituants de l'atmosphère, ainsi que pour surveiller les variations qu'ils subissent du fait de la nature ou des activités humaines.

Tandis que les décisions sur le programme ERS-1 vont être prises, l'Agence – après vingt années de coopération européenne dans l'espace – va s'engager dans un programme global de satellites d'observation de la terre couvrant des secteurs tels que les applications océaniques et terrestres, la surveillance du climat et de l'atmosphère, et la contribution à la recherche sismologique.

4



Opérations des satellites

Si le public manifeste en général beaucoup d'enthousiasme pour le lancement et les exploits des engins spatiaux, son intérêt est plus que faible – sinon nul – pour l'activité tout aussi importante – bien que plus ingrate – que constituent les opérations au sol. Or les systèmes d'exploitation ont, par la force des choses, évolué au même rythme que la complexité des systèmes de commande de satellite et les moyens d'acquisition et de transmission de données.

Le passage des petits satellites scientifiques aux satellites d'applications géostationnaires retransmettant régulièrement leurs données au sol s'est traduit par le développement de systèmes de réception et de traitement de données d'un degré de perfectionnement équivalent. La mise au point des matériels et des logiciels les plus évolués, avec le niveau de fiabilité que cela suppose, a permis, là encore, à l'Agence de se hisser au niveau des superpuissances spatiales.

Carte du réseau de poursuite des premiers satellites en orbite polaire de l'ESRO.

Evolution des systèmes d'exploitation

LE PREMIER RESEAU TERRESTRE (1967–1969)

Lorsque le premier satellite de l'ESRO fut lancé le 29 mai 1967 depuis la base aérienne de Vandenberg en Californie, les systèmes d'exploitation qui étaient nécessaires pour la conduite de la mission étaient de conception tout à fait rudimentaire. Le secteur terrien se composait en tout et pour tout de la station de poursuite de Redu en Belgique et du centre directeur de Noordwijk, à l'ESTEC, aux Pays-Bas. En l'occurrence, ESRO-2 fut détruit à la suite d'un mauvais fonctionnement du lanceur Scout de la NASA peu après le décollage.

Au cours des deux années précédentes, l'ESRO avait déployé beaucoup d'efforts pour définir un réseau de stations de poursuite, concevoir les systèmes électroniques des stations et négocier des accords pour l'installation de ces stations en divers endroits éloignés.

Dans l'année qui suivit l'échec du lanceur d'ESRO-2, deux événements notables vinrent contribuer au développement du système de contrôle au sol de l'Agence:

- Premièrement, le réseau européen 'Estrack' de stations de poursuite dans l'espace fut mis en place et reconnu bon pour le service. Ces stations étaient respectivement situées:
  - à Redu, en Belgique
  - à Fairbanks, en Alaska
  - au Spitzberg (Norvège)
  - dans les Iles Falkland
- Deuxièmement, la décision fut prise le 8 septembre 1967 d'établir un Centre européen d'Opérations spatiales (ESOC) à Darmstadt, en Allemagne (à environ 30 km au sud de Francfort). L'ESOC fut formé en regroupant l'ESDAC (Centre européen de Données spatiales) de Darmstadt avec la Division 'Centre de Contrôle' de l'ESTEC. Cette décision impliquait bien entendu que non seulement le personnel devait déménager de Hollande en Allemagne, mais aussi que l'ensemble du matériel du centre de contrôle devait être démonté pour être ensuite réassemblé à Darmstadt.

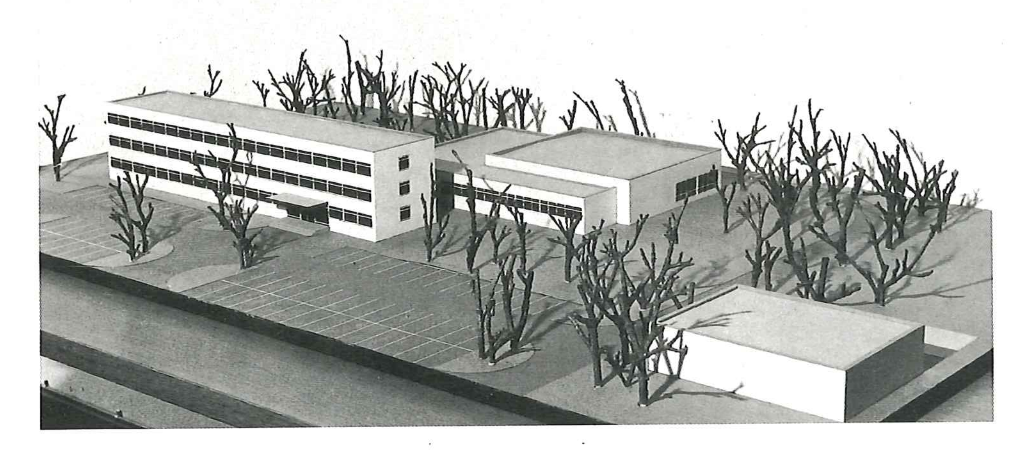


Signature du protocole concernant l'établissement de l'ESDAC à Darmstadt, Allemagne (de gauche à droite: Dr. Kaltenecker; Dr. Stoltenberg, Ministre; et le Professeur Auger, Directeur général de l'ESRO).



Pose de la première pierre à l'ESDAC en 1967 (à gauche: M.S. Comét, Directeur de l'ESDAC; à droite: Dr. A. Hocker, Président du Conseil de l'ESRO).

Modèle du bâtiment de l'ESDAC.



Le 17 mai 1968, l'ESOC était totalement opérationnel, de même que les stations Estrack, et le lancement d'ESRO-2B fut pris en charge avec succès, de même que sa mission, jusqu'à sa rentrée dans l'atmosphère terrestre en mai 1971.

Pendant le reste de l'année 1968, deux autres missions furent prises en charge avec succès:

- ESRO-1A, lancé en octobre 1968 par une fusée Scout.
- HEOS-1, lancé en décembre 1968 par une fusée Thor-Delta.

En octobre 1969, un nouveau lancement réussi par une fusée Scout aboutissait à la mise en orbite d'ESRO-1B, l'ESRO ayant alors pas moins de quatre satellites scientifiques en orbite.

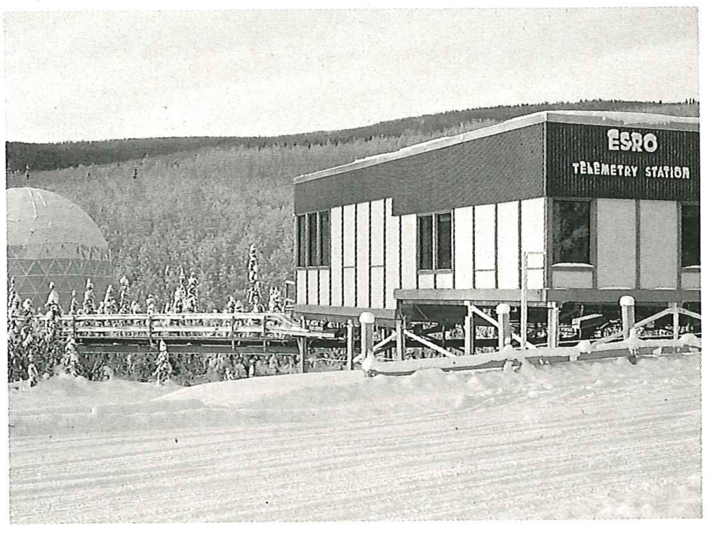
SYSTEMES DE CONTROLE ET D'ACQUISITION DE DONNEES

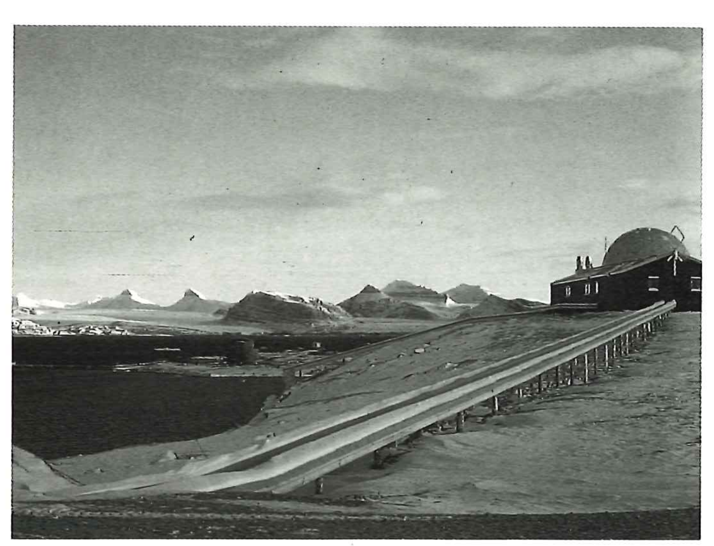
Le réseau Estrack, tel qu'il a existé à la fin de 1969, se composait de quatre stations et d'un Centre de contrôle. On notera que l'emplacement géographique

La station de télémesure et de poursuite de l'ESRO à Redu (Belgique) en 1968.



La station de télémesure et de poursuite de l'ESRO à Fairbanks (Alaska) en 1968.





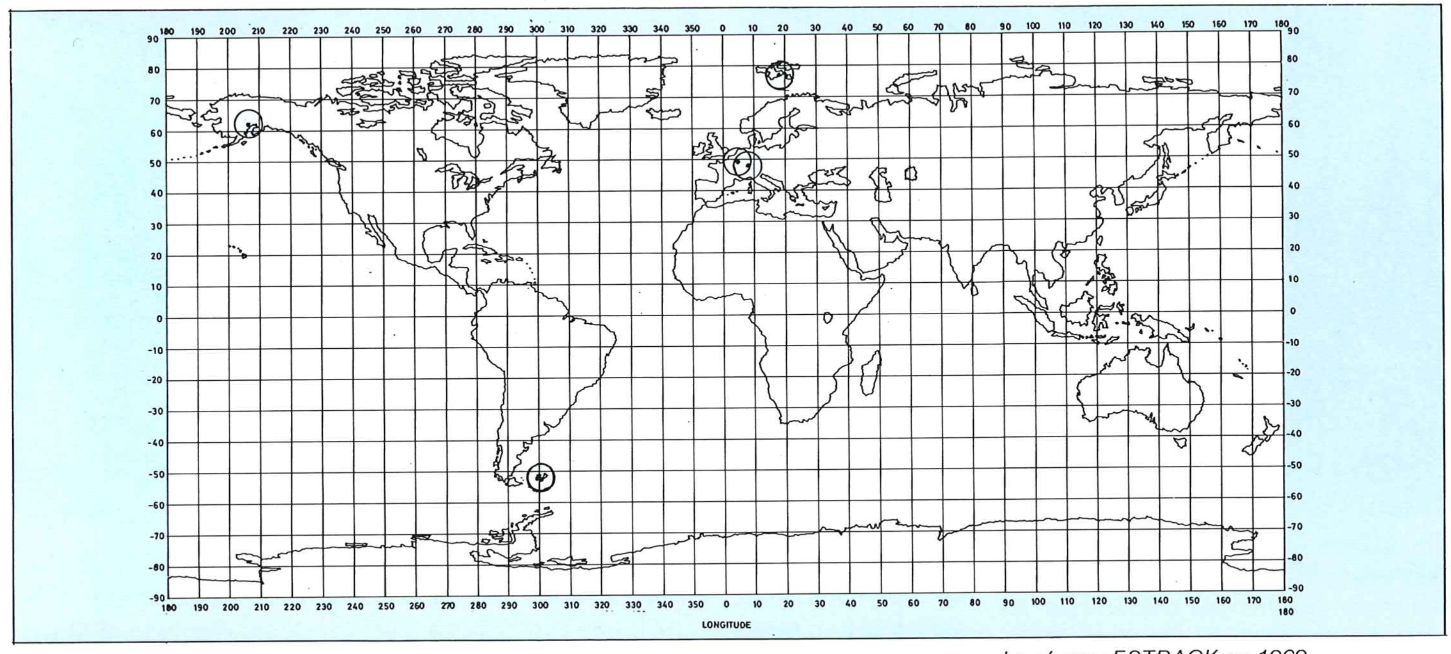
La station de télémesure du Spitzberg (Norvège).



Antenne d'émission aux îles Malouines, avec la station VHF et Port Stanley à l'arrière-plan (1969).

des stations était imposé par les orbites prévues pour les satellites alors déjà lancés. Il s'agissait de missions toutes sur orbite polaire, HEOS-1 gravitant sur une orbite très elliptique et les trois autres sur des orbites circulaires proches de la terre.

- La **commande des stations du réseau** était effectuée au moyen de protocoles et de messages envoyés du Centre de contrôle de l'ESOC par l'intermédiaire d'un réseau télex spécialisé.
- La **commande des satellites en orbite** était dans une large mesure effectuée par l'intermédiaire de protocoles télex pour les opérations de télécommande et de messages télex pour l'examen rapide des données de télémesure. Il n'existait aucun moyen de télécommande en temps réel, et la majeure partie des opérations importantes de télécommande était assurée par le personnel de la station de Redu en liaison phonie avec le Centre de contrôle de l'ESOC.
- Les données de **télémesure en temps réel** (MIC/NRZ) étaient transmises de Redu à Darmstadt (à une cadence allant jusqu'à 1280 bits/seconde) par l'intermédiaire du circuit à fréquence vocale sur une base programmée (phonie ou données). Des données de télémesure en temps réel pouvaient également être reçues du Spitzberg, par l'intermédiaire de circuits radio HF, et du réseau Nascom de la NASA, par l'intermédiaire du centre de commutation de la NASA à Londres. La station norvégienne de Tromsø fournit elle aussi des données durant certaines périodes et fut largement utilisée pour des missions ultérieures.
- Les **données de poursuite** nécessaires à la détermination de l'orbite de chaque satellite étaient transmises sous forme d'un message télex provenant des systèmes électroniques de poursuite de satellites du réseau Estrack. Trois types de systèmes étaient utilisés à cette fin:
  - un système de poursuite par interférométrie à Redu



Le réseau ESTRACK en 1969.

- des systèmes de mesure de distance par tonalités à Redu et à Fairbanks
- des données de poursuite par télémesure angulaire en provenance de toutes les stations.

– Les **fréquences de fonctionnement** du réseau Estrack étaient entièrement limitées à la bande VHF:
  - télémesure et poursuite à 136 – 138 MHz
  - télécommande à 148 – 156 MHz

– Les **communications du réseau** dépendaient dans une large mesure du trafic télex. Les circuits à fréquence vocale et les circuits de données étaient limités à Redu et aux stations Nascom de la NASA (utilisées lors des opérations de lancement).

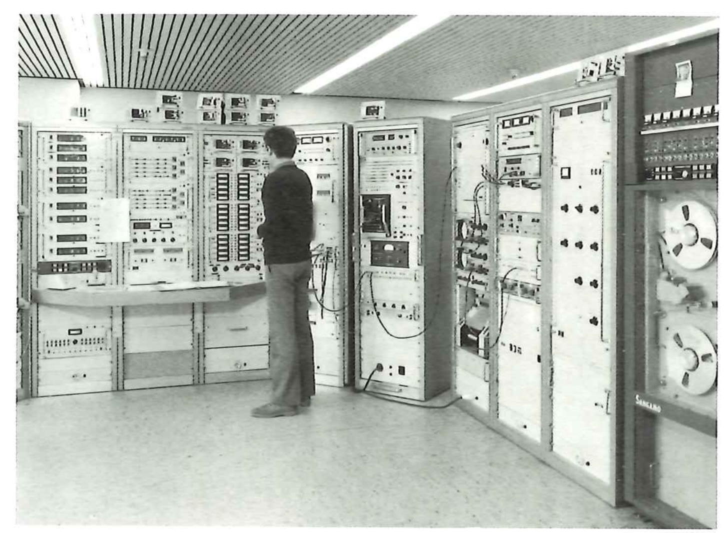
Les circuits radio à haute fréquence du Spitzberg étaient utilisés pour la phonie et les données (par l'intermédiaire de la station SKI près d'Oslo) dans la mesure où les conditions de propagation le permettaient.

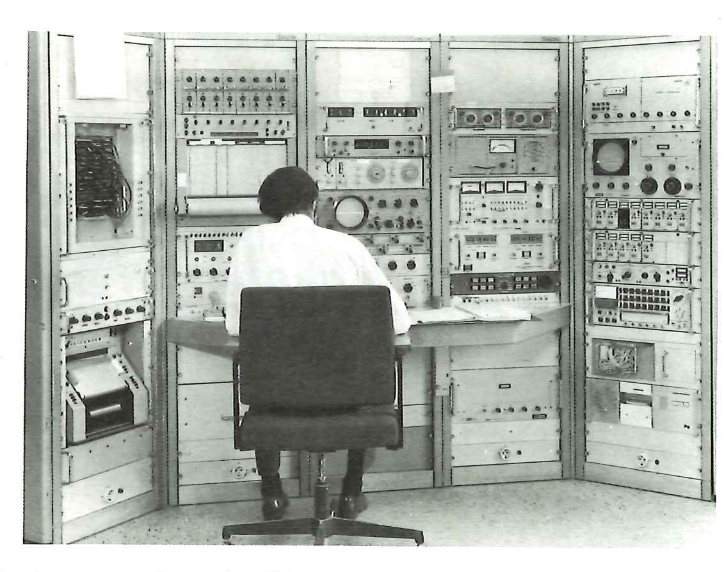
Des circuits de données furent utilisés avec succès entre Darmstadt et la station norvégienne de Tromsø pendant cette période.

Le Centre de contrôle de l'ESOC assurait les tâches majeures de commande des satellites, de gestion du réseau, de détermination des orbites et de communications en faisant le moins possible appel à une assistance informatique.

L'ordinateur IBM-65 de l'ESOC était principalement consacré au traitement des données scientifiques, mais le travail de détermination des orbites fut également effectué sur cet ordinateur.

Les données de commande des satellites provenaient d'états imprimés complets établis à partir des données en temps réel de Redu et traitées par IBM 360, à partir de messages télex pour examen rapide transmis par les stations Estrack, et à partir de comptes rendus vocaux donnés par Redu (plus la station du Spitzberg). L'affichage en binaire-décimal et les voyants 'marche-arrêt' étaient d'usage





Le système de décommutation de la télémesure MIC en temps réel assure le traitement des données envoyées par les stations pour affichage rapide et chargement dans l'ordinateur.

Le système d'évaluation des bandes magnétiques est utilisé pour le contrôle électronique des bandes envoyées par les stations de l'ESTRACK, de la NASA et du CNES.

courant pour surveiller les paramètres de télémesure aussi bien dans les stations de poursuite qu'à l'ESOC (lorsque des données étaient disponibles). C'est seulement au début de 1970 que l'on disposa d'écrans de visualisation (IBM type 2260 AND) pour la présentation de données de télémesure démultiplexées, exprimées en unités techniques, au personnel chargé du contrôle des satellites.

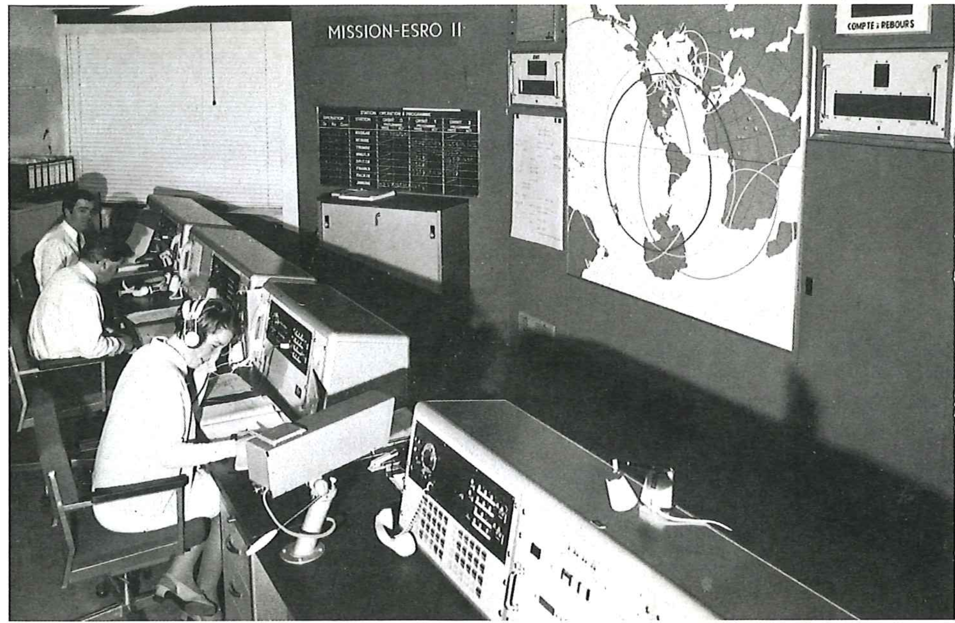
Les données scientifiques étaient transmises à l'ESOC par les stations d'acquisition sous forme de bandes magnétiques analogiques pour instrumentation (7 pistes, 1/2 pouce). Les bobines étaient expédiées chaque semaine par avion dans des boîtes en métal. Après réception et catalogage, ces bandes magnétiques étaient introduites dans le système d'évaluation et de conversion. La qualité des données de chaque bande était évaluée et des messages télex étaient envoyés à la station concernée lorsqu'on recevait des enregistrements d'une qualité inférieure à la norme. Le niveau d'enregistrement, le niveau du signal, le niveau de bruit, la confirmation des télécommandes et les références de temps étaient également évaluées par rapport aux normes IRIG. Il s'agissait de normes de documentation et d'enregistrement d'un groupe spécialisé de la NASA qui avaient été adoptées par l'ESRO.

Une fois que l'évaluation des bandes était terminée, les bandes analogiques étaient transformées (sur un ordinateur Honeywell 116) en bandes numériques en vue de leur présentation aux ordinateurs IBM 360 et du traitement préliminaire des données scientifiques. Les bandes numériques étaient expédiées au lieu de travail de l'expérimentateur concerné, tandis que la bande analogique restait dans la bibliothèque de bandes de l'ESOC.

On peut donc voir qu'à la fin de 1969, les opérations Estrack de l'ESOC dépendaient encore fondamentalement de méthodes analogiques de visualisation et d'enregistrement, et que les communications dépendaient fortement des circuits télex pour l'acheminement des données et la gestion.

LES INSTALLATIONS DE CONTROLE DES OPERATIONS (1970–1975)

La construction du nouveau Centre de Contrôle des Opérations (OCC) spécial à



Le Centre de Commande des Opérations à l'ESOC en 1969.

l'ESOC commença en 1970. Ce projet devait fournir à l'ESRO une installation de contrôle spécialisée capable de traiter trois flots simultanés de données de télémesure, et d'afficher ces données en plusieurs points du réseau.

La construction débuta en février 1970 et fut terminée en mars 1971. La date d'achèvement prévue pour l'OCC complet (y compris tous les systèmes électroniques) était fixée à juillet 1971. Cette date était elle-même basée sur le lancement prévu de HEOS-A2 en octobre 1971.

En juillet 1971, le bâtiment était terminé, offrant 900 m^2 de surface au sol pour les installations techniques. Le système opérationnel du nouvel OCC, composé des sous-systèmes suivants, fut soumis à un programme intensif d'essais en service au cours des mois de juillet et août 1971:

- système d'exploitation en temps réel (RTOS), comprenant deux ordinateurs IBM plus des écrans alphanumériques et des unités d'impression
- trois systèmes de démultiplexage des données de télémesure MIC
- un système d'interfaces d'ordinateur
- des enregistreurs sur bandes magnétiques analogiques
- un interphone
- un système de communications par télé-imprimeur
- un système de télévision en circuit fermé
- un système de distribution de temps
- une salle de contrôle principale
- une salle de contrôle auxiliaire
- une salle d'évaluation pour les expérimentateurs
- une salle pour les opérations en orbite.

L'ensemble du système fut réceptionné au cours du mois de septembre 1971, et les préparatifs commencèrent pour les simulations menant jusqu'au lancement de:

- HEOS-A2 en janvier 1972.
- TD-1A en mars 1972.

Le Centre de Commande des Opérations à l'ESOC en 1972.



Ces deux lancements furent pris en charge avec succès par les nouveaux systèmes du Centre de contrôle des opérations, et on procède au passage en phase de routine pour les deux nouvelles missions plus HEOS-1. Des opérations de formation et d'essais du logiciel étaient également en cours en vue du lancement d'ESRO-4, prévu pour novembre 1972. Mais en mai 1972 les deux enregistreurs de bord tombèrent en panne sur TD-1A, et un programme d'urgence sans précédent fut mis en route pour trouver de nouvelles stations d'acquisition de données.

En novembre 1972, ESRO-4 fut lancé avec succès de la base militaire aérienne de Vandenberg, en Californie, par une fusée Scout, et fut mis sur orbite polaire. Cette mission fut prise en charge avec succès par l'ESOC et par le réseau Estrack jusqu'à la dégradation de l'orbite du satellite en avril 1974.

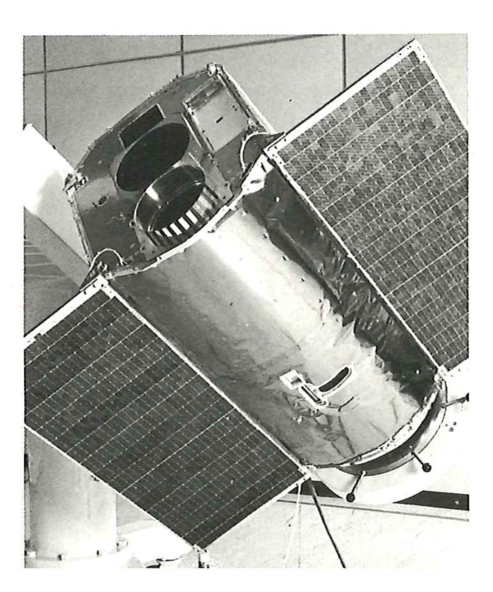
En 1973, l'ESRO amorça une nouvelle phase dans la mise au point de ses systèmes opérationnels. Un accord avec la NLR (l'Agence spatiale néerlandaise) permit à celle-ci d'utiliser les installations du centre de contrôle des opérations et la station de Redu pour conduire la mission du satellite ANS, dont le lancement était programmé en 1974. Cela devait nécessiter un important réaménagement des interfaces de communications entre ledit centre de contrôle et Redu afin de fournir des moyens de télécommande par clavier en temps réel par l'intermédiaire de liaisons utilisant des protocoles de gestion des transmissions de données, avec réception et traitement des données de télémesure MIC en temps réel. Ce fut l'installation initiale du système dit Stamac, qui fournit pour la première fois une interface intégrée processeur de communications – ordinateur de centre de contrôle – stations de poursuite.

Comme la station de Fairbanks et celle de Redu étaient également nécessaires pour prendre en charge la mission Cos-B commençant en 1975, on décida d'équiper la station de Fairbanks du système Stamac et de modifier les deux stations pour les aligner sur la nouvelle norme de télécommande MIC (modifiée

par rapport à la norme de télécommande numérique par tonalités auparavant en usage dans les stations de l'ESRO).

ANS fut lancé en août 1974 par une fusée Scout et fut pris en charge avec un grand succès jusqu'en mars 1976 par l'OCC et la station de Redu. Le système de télécommande MIC nouvellement installé, plus le nouveau système Stamac, permettaient le vidage et le rechargement en temps réel de l'ordinateur de bord pendant deux périodes par jour. Ce fut la première expérience de l'ESOC avec des ordinateurs embarqués, et il a fallu attendre 1983 pour qu'elle se renouvelle avec Exosat.

Avec le lancement en août 1975 du premier satellite de l'Agence, Cos-B, l'achèvement de la mission ESRO-4 en avril 1974, le réseau Estrack entrait dans une nouvelle ère. L'orbite fortement elliptique de Cos-B culminant à 110 000 km au-dessus de la région du Pôle Nord impliquait que deux stations (Redu et Fairbanks) pouvaient acquérir plus de 90% des données de télémesure transmises par Cos-B. Cela mena à la décision de fermer les stations de poursuite des Iles Falkland et du Spitzberg, car aucune autre mission sur orbite polaire proche de la Terre n'était prévue au programme. Ces stations furent respectivement fermées le 31 décembre 1973 et le 16 avril 1974. Cos-B continua d'être pris en charge par les stations de Fairbanks et de Redu jusqu'à 1977, date à laquelle Fairbanks fut fermée, à la fois pour des raisons d'économie et parce que la réduction du réseau à une seule station permettait encore l'acquisition de 85% des données disponibles de Cos-B.



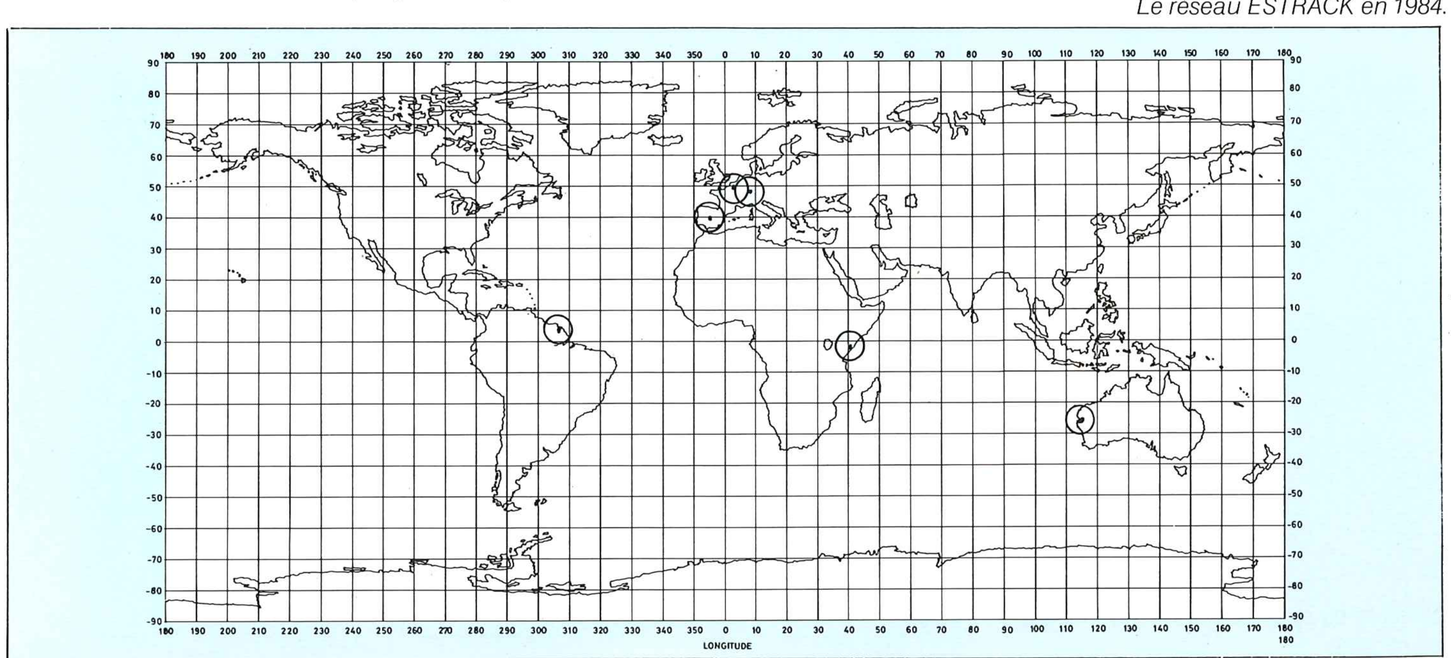
Le satellite astronomique néerlandais (ANS) en 1974.

LES MISSIONS DE SATELLITES GEOSTATIONNAIRES (1975–78)

Le réseau LEOP (Phase de lancement et de première satellisation)

Il devint évident en 1975 que pour prendre en charge les missions géostationnaires dont le lancement était programmé pour 1978, un réseau de stations de

Le réseau ESTRACK en 1984.



poursuite en VHF serait requis autour des régions équatoriales.

Après des études et des compromis considérables, le choix se porta sur les emplacements suivants:

- Malindi, au Kenya, où une station de poursuite en VHF existante était exploitée par l'agence italienne CRA;
- Kourou, en Guyane française, où la station de poursuite KRU-92 en VHF était exploitée par le CNES;
- Carnarvon, en Australie occidentale, où des installations de télémesure, télécommande & localisation en VHF devaient être mises en place au centre de communications de l'OTC.

La mise en place de ce réseau devait permettre de moins dépendre du réseau STDN en VHF de la NASA lorsque les lanceurs Ariane entreraient en service régulier.

Le réseau VHF de l'Estrack, comprenant les stations précitées plus la station VHF de Redu assurèrent la couverture nécessaire pour les opérations LEOP, y compris la mise sur orbite de transfert, la mise à feu du moteur d'apogée et le séjour en orbite de défilement. En raison des contraintes de couverture, l'injection au troisième ou au septième passage à l'apogée n'était pas réalisable.

Ces stations devinrent opérationnelles aux dates suivantes:

- avril 1977 : Malindi
- juin 1978 : Kourou
- juin 1980 : Carnarvon

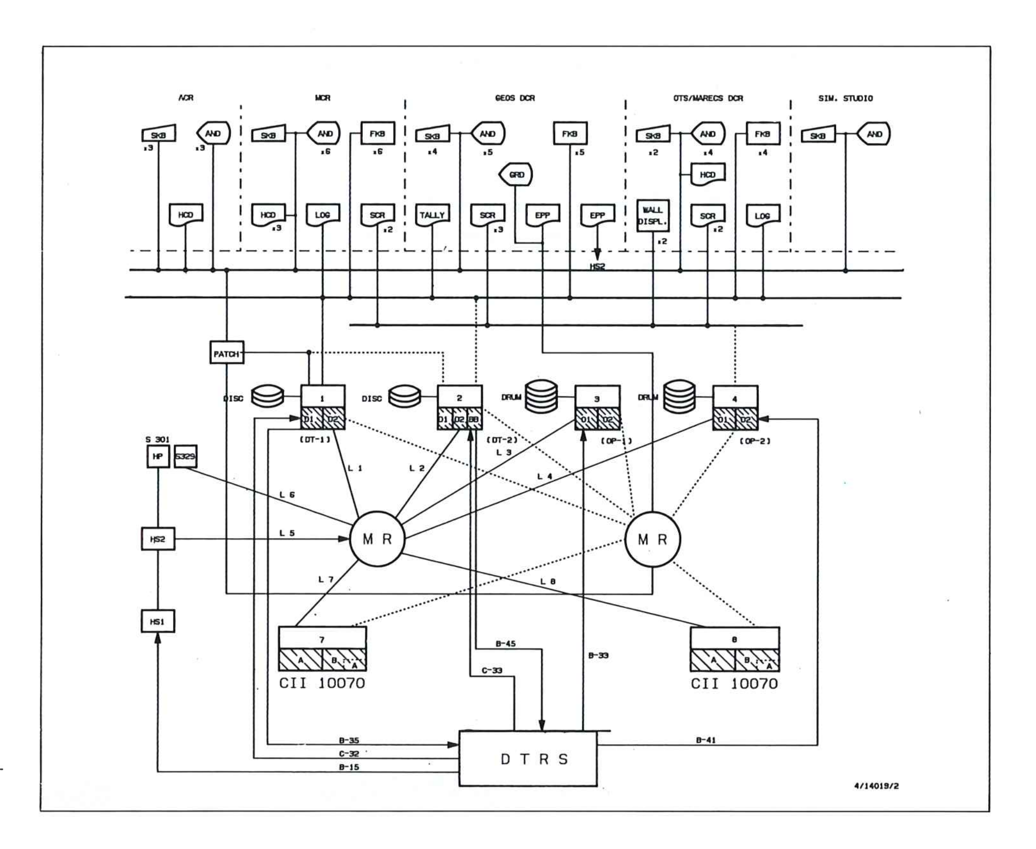


Schéma du système de soutien multisatellite (MSSS).

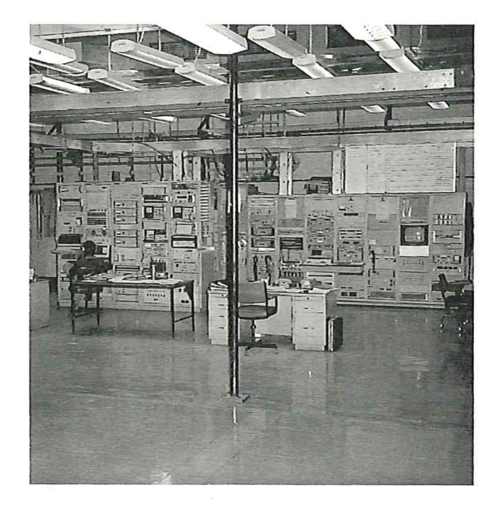
avant le premier lancement d'une charge utile scientifique prévue pour être mise en orbite par Ariane.

Le matériel du réseau fut perfectionné de manière considérable entre 1977 et 1981 afin d'assurer une plus grande disponibilité des fonctions de télémesure, de télécommande et de localisation. Au cours de l'année 1984, le réseau fut encore amélioré de façon à fournir des moyens de télémesure, télécommande & localisation en bande S aussi bien qu'en VHF.

A partir de 1974, un programme très important fut entrepris par l'ESA en vue des nouvelles missions de satellites géostationnaires programmées pour un premier lancement à la fin 1976. Ces missions comprenaient Geos, OTS, Météosat et Marots.

A l'ESOC, cela impliquait la nécessité d'un système informatique nouveau et beaucoup plus puissant. Ce système, qui devait prendre plus tard le nom de 'système de soutien multisatellite' (MSSS), était conçu pour traiter les données de télémesure en provenance d'un maximum de six satellites distincts, pour envoyer des ordres de télécommande en temps réel et pour gérer jusqu'à 13 écrans de visualisation alphanumérique dans la salle de commande de l'OCC. En outre, le système devait faire face à la réception des données de Geos à une cadence de 112 kbits/seconde 24 heures sur 24. Cela représentait un volume de données très supérieur à tout ce dont l'ESOC avait déjà fait l'expérience.

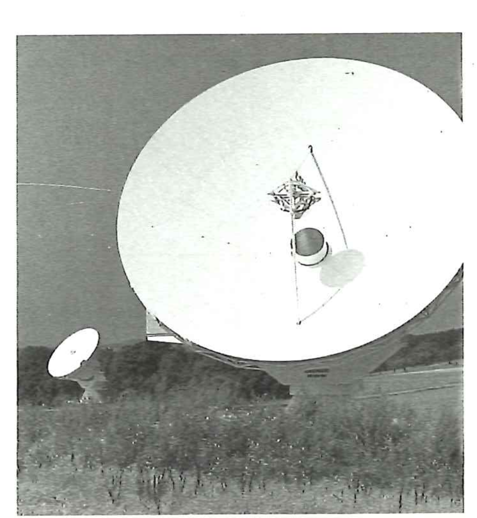
Le système fut installé au début de 1976 et se composait d'un réseau de machines Siemens 330 (64 kilo-octets) servant d'ordinateurs 'frontaux', avec ordinateurs principaux deux CII 10070 fonctionnant en redondance. Ces derniers pourvoyaient au stockage et à l'extraction des données de télémesure et de



Les installations de télémesure, télécommande & localisation au Centre australien des Télécommunications à Carnarvon, Australie occidentale.



Le système informatique sol de Météosat (MGCS) avec ses ordinateurs spécialisés, à l'ESOC, Darmstadt.



Antennes dans l'Odenwald, Allemagne (au premier plan: antenne Geos; à l'arrière-plan: antenne Météosat).

télécommande et comportaient en plus le matériel informatique nécessaire à l'exploitation du logiciel de détermination et de correction d'orbite et d'attitude dans les phases orbite de transfert et satellisation finale d'une mission de satellite géostationnaire.

Note: HEOS-1 transmettait les données à 12 b/s, Cos-B à 320 b/s, Geos à 112 000 b/s!

Outre ce nouveau système informatique, un second système, encore plus vaste, allait être nécessaire pour le traitement des données d'image de Météosat. Météosat devait en effet transmettre des données d'image brutes à 166 kbits/seconde toutes les demi-heures, 24 heures sur 24. Pour faire face à cette tâche et pour assurer toutes les autres fonctions nécessaires au bon déroulement de la mission Météosat, le MGCS (système informatique au sol de Météosat) fut installé et commença à travailler en 1976. Ce système se composait de deux unités centrales ICL 2980 plus un important complément de périphériques. Ce ne fut pas l'une des plus heureuses initiatives de l'Agence, et après des tentatives répétées et coûteuses pour obtenir un système d'exploitation fiable, on remplaça l'ICL 2980 par un Siemens 7865 en 1980.

Pour prendre en charge une mission de satellite géostationnaire, une station au sol spécialisée est nécessaire pour chaque satellite afin d'assurer les fonctions de commande de la charge utile et du reste du satellite. Les installations suivantes furent conçues et mises en place au cours des années 1975–1976:

- station de réception de Geos (bande S) à Odenwald, en Allemagne
- DATTS (système d'acquisition de données, de télémesure et de poursuite de Météosat (bande S et bande L) également à Odenwald
- station de contrôle et poursuite d'OTS (bande K_u) à Fucino, en Italie
- station de télémesure, télécommande & localisation pour Marots, à Villafranca, en Espagne (bande K_u), ultérieurement transformée pour Marecs (bande C)
- station de contrôle et observatoire IUE (bande S), également à Villafranca.

Un programme d'essais intensif mené à l'ESOC, dans chacune des stations nouvellement mises en service ainsi que dans les stations Estrack, permit de faire en sorte que tous les systèmes soient parfaitement opérationnels avant le lancement de chaque satellite. Egalement pour la première fois, des modèles représentatifs de satellite furent utilisés comme sources de données d'essais pour valider les systèmes de soutien au sol de l'ESOC, y compris le matériel informatique et le logiciel. Cela devint ultérieurement une pratique normalisée pour tous les programmes.

Le programme de lancement de 1977 tel qu'il se déroula finalement fut le suivant:

- avril 1977: Geos-1 (anomalie de fonctionnement du lanceur Delta)
- septembre 1977: OTS-1 (défaillance du lanceur Delta)
- novembre 1977: Météosat-1.

D'après ce qui précède, il semblerait que 1977 n'ait pas été une bonne année. Cela n'est pas tout à fait vrai car, si Geos-1 ne put atteindre l'orbite correcte, l'ESOC fut en mesure de mettre sur pied une mission de sauvetage qui permit de recueillir d'utiles données scientifiques. De plus l'ensemble complexe formé par les ordinateurs, les circuits de communication et les stations de poursuite fut très



Surveillance des données Geos.

soigneusement essayé et mis au point; si bien que, lorsque OTS-2 fut lancé avec succès en mai 1978, suivi de Geos-2 en juillet de la même année, les performances du système de contrôle au sol furent absolument impeccables.

Une autre mission qui fut prise en charge par l'ESA sur préavis très court fut celle de GOES-A (ultérieurement rebaptisé GOES-I/O parce que destiné à couvrir l'Océan Indien). Ce satellite météorologique, similaire à Météosat, avait été offert par la NOAA (Agence océanique et atmosphérique nationale des Etats-Unis) à l'Organisation météorologique mondiale en remplacement du satellite russe GOMS.

En 1979, plusieurs agences offrirent des satellites météorologiques géostationnaires pour le Projet GARP. En l'occurrence, les Soviétiques ne purent fournir leur satellite GOMS et les Etats-Unis offrirent GOES-A pour l'Océan Indien, à condition que l'ESA puisse prendre le satellite en mains. En moins d'un an, assistée par la NASA et la NOAA, celle-ci avait:

- installé à Villafranca, en Espagne, une station de télémesure, télécommande & localisation en bande S pourvue d'une antenne de 10 m;
- installé à Villafranca un système de diffusion d'images en bande L;
- installé à l'ESOC une salle de contrôle satellite avec tout le matériel informatique et tout le logiciel nécessaires pour les besoins de la mission;
- établi l'interface de communications entre GOES, Villafranca et le centre de contrôle des opérations de l'ESOC;
- créé et formé une équipe de contrôleurs de satellite et d'ingénieurs système capables d'exécuter les opérations nécessaires à la mission;
- validé et essayé la totalité du secteur terrien à la satisfaction de la NOAA avant le transfert de GOES aux mains de l'ESOC;

- repris en mains GOES-A à 15° de longitude nord, et l'avoir fait dériver à 57° de longitude est, en le maintenant à poste en ce point (le satellite fut alors rebaptisé GOES/Indian Ocean);
- assuré le contrôle de mission de GOES-I/O du 1er décembre 1978 jusqu'au 30 novembre 1979, date à laquelle on fit dériver le satellite vers l'est pour l'amener au-dessus de Guam, où il fut repris en mains par la NOAA.

On pense qu'il s'agit là d'un exemple unique de coopération internationale dans le domaine de l'espace.

L'ERE ARIANE (1979–1983)

Avec le lancement de GOES-2 en juillet 1978, l'ESA avait en vue la mise en service de son nouveau lanceur Ariane.

L'Agence avait alors un ambitieux programme de lancement à confier au nouveau lanceur:

- Météosat-2, second satellite météorologique européen, prévu pour être lancé en tandem avec le satellite APPLE de l'Organisation indienne de Recherches spatiales,
- Marecs-A et B, les premiers satellites européens de communications maritimes,
- Sirio-2, un satellite combiné de relais de données scientifiques et météorologiques.
- ECS-1, premier satellite européen opérationnel de télécommunications (OTS étant qualifié de satellite expérimental),
- Exosat, premier satellite européen d'astronomie en rayons X.

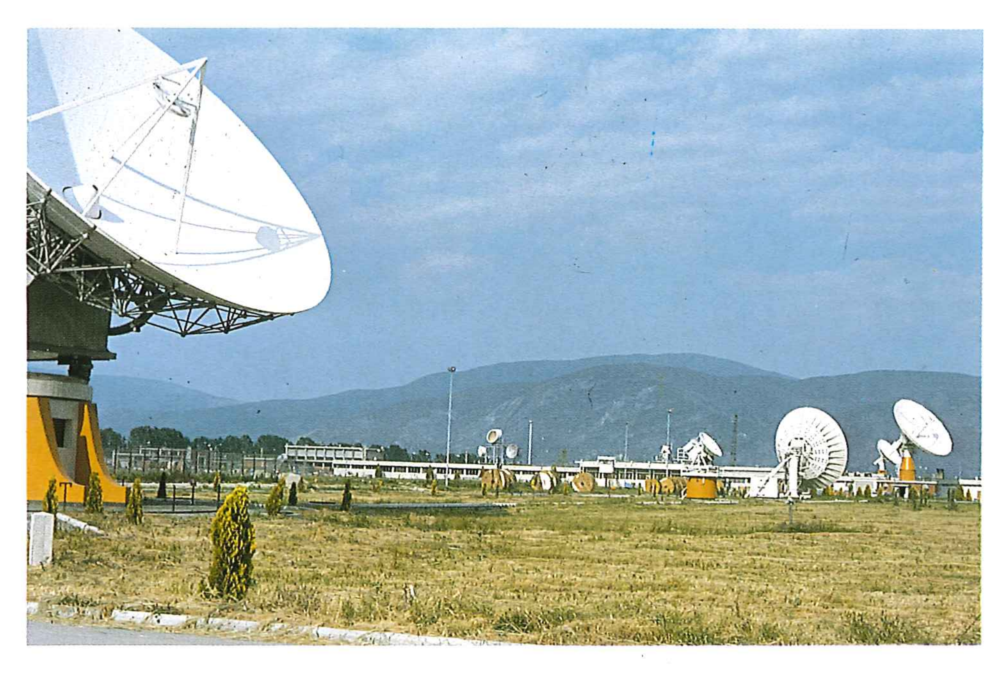
Pour prendre en charge toutes ces missions (à l'exception de Météosat-2), il était nécessaire de construire et de mettre en place les moyens d'exploitation spécialisés.

Entre 1978 et 1983, toutes ces installations furent mises en place, testées et déclarées bonnes pour le service avant le lancement de chaque satellite.

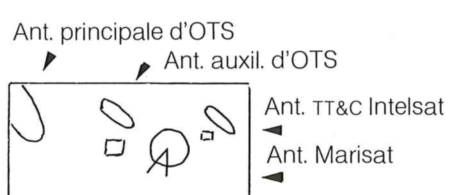
Le programme de lancement effectivement réalisé pendant cette période fut le suivant:

Date	Mission	Lanceur
Juin 1981	Météosat-2/APPLE	Ariane
Décembre 1981	Marecs-A	Ariane
Septembre 1982	Marecs-B/Sirio-2	Echec d'Ariane
Mai 1983	Exosat	Delta
Juin 1983	ECS-1	Ariane

En 1983, du fait des retards du lanceur, l'Agence prit en charge la phase de lancement et de première satellisation de deux satellites à trois semaines d'intervalle, ces deux satellites étant tous deux exploités depuis l'ESOC à Darmstadt:



Réseau d'antennes à Fucino, Italie.



INSTALLATIONS SPECIALES MISES EN OEUVRE POUR LES PREPARATIFS DE LANCEMENT DES CINQ DERNIERS SATELLITES

MISSION	Phase de lancement et de première satellisation		Phase de routine	
	Stations	Centre de contrôle	Stations	Centre de contrôle
Marecs-A (1981)	–	–	Station de Villafranca pour opérations de télémesure, télécommande & localisation et les besoins du PTL (Laboratoire d'essais de charge utile), en liaison avec l'ESOC	Salle de contrôle TELECOM à l'ESOC pour les fonctions de commande du satellite et l'exécution des essais de charge utile.
Marecs-B (1982	–	1ère exigence de commande totale d'un double lancement à l'ESOC.	Station d'Ibaraki (même chose que ci-dessus)	Comme ci-dessus.
Sirio-2 (1982)	Matériel de télécommande numérique par tonalités à toutes les stations		Station de Fucino pour les opérations de télémesure, télécommande & localisation	Centre de contrôle spécialisé à Fucino, la responsabilité de la conduite de toutes les opérations étant adjugée par contrat à Telespazio
ECS (1983)	–	–	Station de Redu pour les opérations de télémesure, télécommande & localisation et les besoins du PTL	Centre de contrôle spécialisé à Redu pour la conduite de toutes les opérations
Exosat (1983)	Concours NASA au stade de la 1ère satellisation. Vilspa était la seule installation ESA utilisée.	–	Station de Villafranca pour les opérations de télémesure, télécommande & localisation, en liaison avec l'ESOC	Salle de contrôle Exosat à l'ESOC pour les fonctions de commande du satellite et l'observatoire. Installations informatiques spéciales en complément du MSSS.

– 26 mai 1983: lancement d'Exosat du WTR en Californie par Delta
– 16 juin 1983: lancement d'ECS-1 de la base de Kourou par Ariane.

Au 12 octobre 1983, date à laquelle ECS-1 fut officiellement affecté au service d'Eutelsat, l'ESA exploitait un total de neuf satellites, à savoir:

satellites météorologiques	Météosat-1 et 2
satellites de télécommunications	OTS-2, Marecs-A, ECS-1
satellites scientifiques	ISEE-B, Geos-2, IUE, Exosat

Il s'agissait pour la plupart de satellites géostationnaires exigeant des stations au sol et des salles de contrôle spécialisées, et une surveillance 24 heures sur 24. Les circuits de communications entre les stations au sol et le centre de contrôle du satellite assuraient une liaison fiable avec redondance et protection contre les erreurs. Le chemin accompli, depuis les premiers jours du réseau Estrack avec ses circuits télex à 50 bauds jusqu'au réseau mondial actuel de l'ESA capable de transmettre des données numériques à 9.6 kbit/s assurant des fonctions télémesure et télécommande en temps réel, est des plus remarquables.

Exploitation des satellites scientifiques

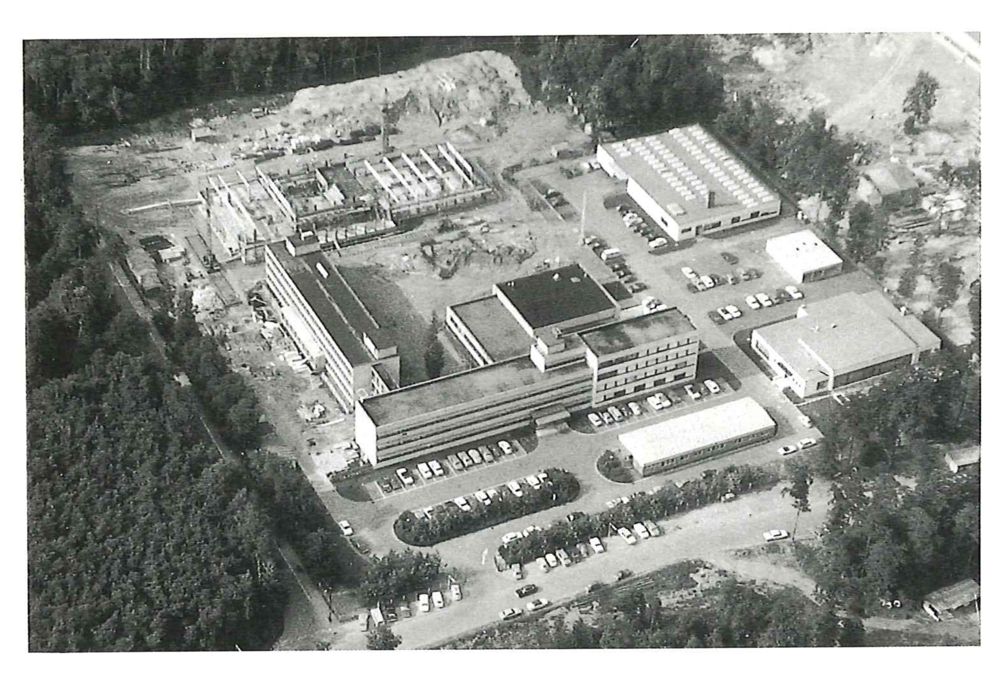
Dans la période 1968 à 1983, l'ESRO et l'ESA ont lancé à elles deux pas moins de 13 satellites scientifiques.

Ceux de **la première génération** furent lancés entre mai 1968 et octobre 1969 et furent tous mis sur une orbite polaire. Ces satellites n'étaient soumis qu'à une intervention limitée, car aucune manoeuvre orbitale n'était possible. La com-

SATELLITES SCIENTIFIQUES DE L'ESRO ET DE L'ESA

Satellite	Lanceur	Date de lancement	Fin de vie utile	Missions	Fréquence* de transmission
				Missions 'premières incursions'	
ESRO-2	Scout	Mai 1967	Défaillance	Rayons cosmiques, rayons X solaires	VHF
ESRO-2B	Scout	Mai 1968	Mai 1971	Rayons cosmiques, rayons X solaires	VHF
ESRO-1A	Scout	Oct. 1968	Juin 1970	Phénomènes d'aurore, calottes polaires et ionosphère	VHF
HEOS-1	Delta	Déc. 1968	Oct. 1975	Vent solaire, champ magnétique interplanétaire, front de choc	VHF
ESRO-1B	Scout	Oct. 1969	Nov. 1969	(comme ESRO-1A)	VHF
				Missions de 'seconde génération'	
HEOS-2	Delta	Janvier 1972	Août 1974	Magnétosphère polaire, point neutre, milieu interplanétaire	VHF
TD-1A	Delta	Mars 1972	Mai 1974	Astronomie (UV, X- et gamma)	VHF
ESRO-4	Scout	Nov. 1972	Avril 1974	Atmosphère neutre, ionosphère, particules aurorales	VHF
Cos-B	Delta	Août	Avril 1982	Astronomie (rayons gamma)	VHF
				Missions de '3ème génération' et satellites géostationnaires	
Geos-1	Delta	Avril 1977	Déc. 1978	Mesures sur les ondes et champs magnétosphériques	S/VHF
ISEE-B	Delta	Oct. 1977	–	Magnétosphère	S
IUE	Delta	Janvier 1978	–	Astronomie UV	S/VHF
Geos-2	Delta	Juillet 1978	Déc. 1983	(comme Geos-1)	S/VHF
Exosat	Delta	Mai 1983	–	Astronomie en rayons X	S
ANS**	Scout	Août 1974	Mars 1976	Astronomie (rayons UV et X)	

* Fréquences radioélectriques désignées par des codes internationaux. La liaison descendante est donnée la première.
** ANS était un projet de satellite national néerlandais (NLR) pris en charge par Redu et l'OCC.





Le site de l'ESOC à Darmstadt en 1971.

mande d'attitude et celle des sous-systèmes d'alimentation électrique et de régulation thermique des satellites étaient en revanche assurées.

Il est intéressant de noter qu'ESRO-2B, programmé pour une mission de six mois, fut en réalité opérationnel pendant trois ans, tandis que HEOS-2, prévu pour une mission de deux ans, fonctionna pendant sept ans.

On peut retenir également de cette période le lâcher de baryum effectué en 1969 à bord de HEOS-1 dans le cadre de l'expérience S-16. Des lâchers du même genre avaient déjà eu lieu précédemment à partir de fusées-sondes, mais jamais à partir d'un satellite en orbite.

La seconde génération de satellites scientifiques de l'ESRO ne rencontra pas de problèmes de lanceur, et les trois satellites furent tous une réussite scientifique.

TD-1A, le premier satellite de l'ESRO à être stabilisé sur trois axes, était conçu pour explorer la sphère céleste pendant une mission de surveillance de six mois. Mais en mai 1972, deux mois après le lancement, les deux enregistreurs magnétiques de bord tombèrent en panne, le pourcentage de récupération des données scientifiques se trouvant du coup réduit à moins de 25%.

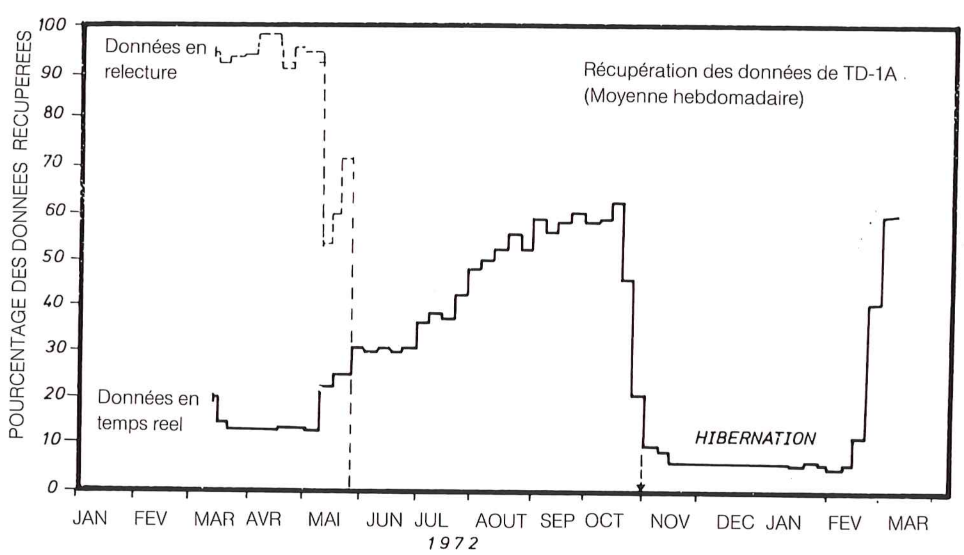
Aussitôt, l'ESOC demanda un soutien d'urgence pour la récupération des données et une assistance immédiate fut reçue des stations de la NASA à Quito, Santiago, Rosman (Etats-Unis) et Ororal (Australie), suivies par les stations du CNES à Kourou, Pretoria et aux Iles Canaries, et quelques jours plus tard par les stations CNES de Brazzaville et Ouagadougou. L'apport de ces stations de secours permit de porter la couverture en 'temps réel seulement' aux alentours de 30% des données totales. Grâce à l'appui précieux de la NASA, il fut possible de porter la couverture à 40% environ en ajoutant les stations de Carnarvon, de l'Ile de Guam, de l'Ile de l'Ascension, du Western Test Range et des Seychelles. A ces

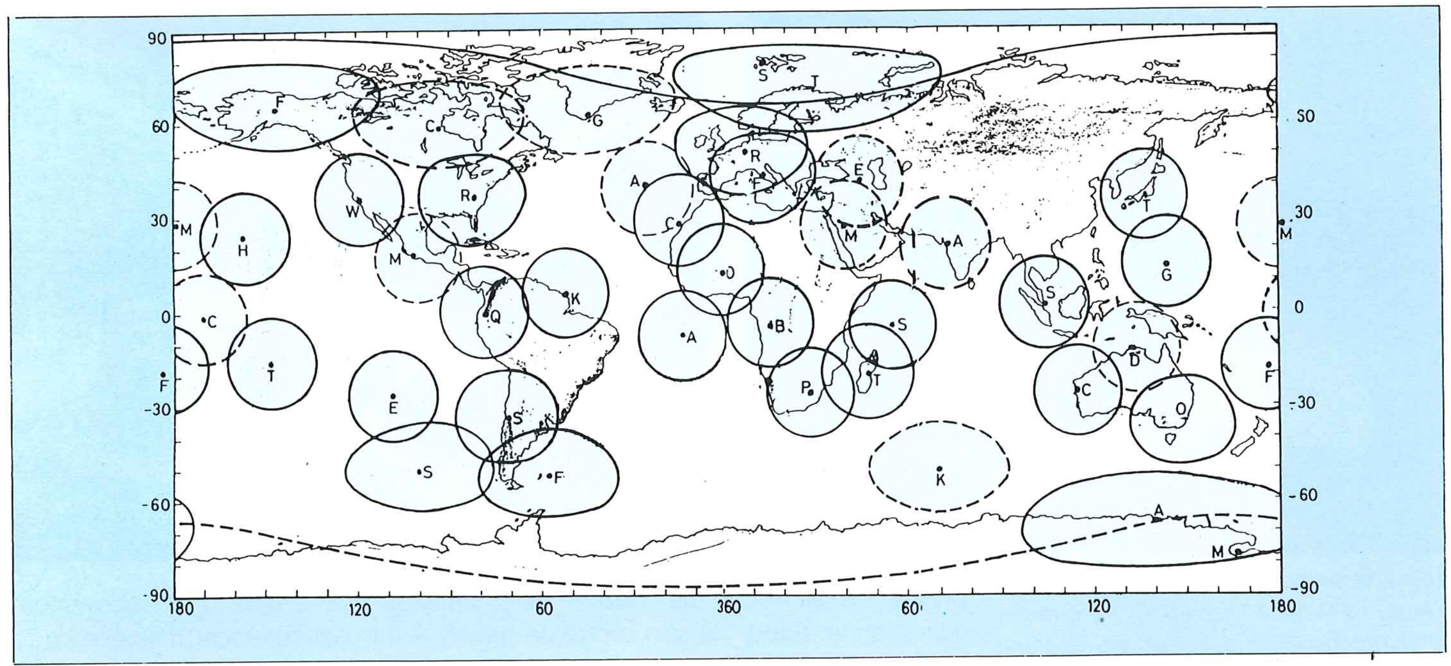
L'une des stations les plus isolées dans toute l'histoire de l'ESRO: la station transportable (ici sur l'île de Pâques dans le Pacifique sud) utilisée pendant les opérations de 'sauvetage' de TD-1A en 1972–73.



dernières s'ajoutèrent ensuite la station japonaise de Kashima et la station antarctique française en Terre Adélie.

Comme il n'était pas question de couvrir l'ensemble du globe avec des stations au sol, des emplacements prioritaires durent être choisis. Pour des raisons scientifiques, le plus souhaitable était de couvrir la zone de l'Océan Pacifique, en particulier celle située entre les 30èmes parallèles au nord et au sud de l'équateur. On devait ainsi pouvoir récupérer la majeure partie des données en provenance de régions d'un intérêt scientifique primordial telles que le centre de la Galaxie, la constellation d'Orion et la Nébuleuse du Crabe. Comme ces régions allaient être explorées par les téléscopes de TD-1A en août et en septembre, une action rapide était essentielle.



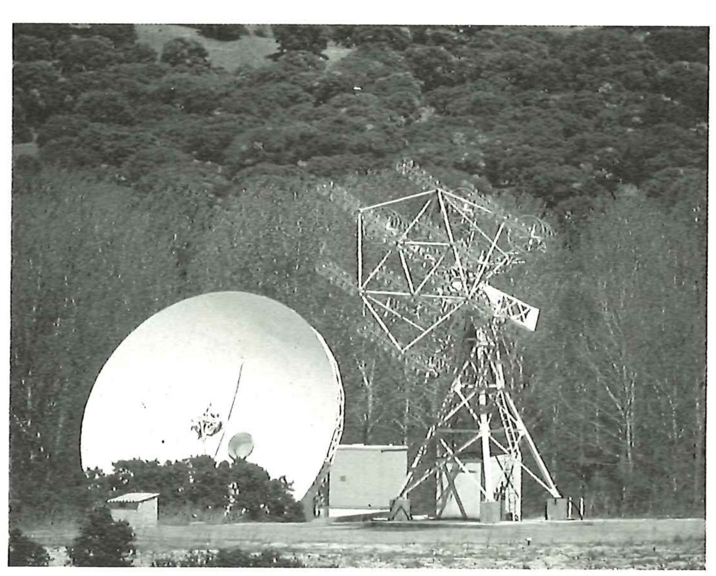


Stations utilisées pendant le second tour de sauvetage de TD-1A.

Avec le matériel acquis auprès de nombreuses sources, l'ESOC réussit à mettre sur pied six stations sol transportables supplémentaires. Des récepteurs et des enregistreurs à bande magnétique furent intégrés dans des conteneurs spéciaux équipés d'un réseau d'antennes Yagi orientables. Au début du mois d'août, cinq de ces stations mobiles étaient opérationnelles à Suva (archipel des Fidgi), Papeete (Tahiti), Singapour, Kauai (Hawaii) et dans l'Ile de Pâques (Pacifique Sud). La sixième fut placée sur un navire, le 'Candide', affrété spécialement pour les besoins de la cause. De la mi-août à la fin du mois de septembre, ce navire resta en station à 45°S, 100°W, au sud-ouest de Valparaiso (Chili).

A la suite de ces efforts, et grâce au concours d'autres agences, la couverture totale en temps réel fut portée de 30% immédiatement après la panne des enregistreurs magnétiques à 60% environ, avec un niveau record de 62,6% dans la troisième semaine d'octobre 1972.
Ensuite, TD-1A fut mis en hibernation par l'ESOC après une opération très complexe d'accélération de sa rotation propre faisant intervenir quatre stations de poursuite, (Redu, Tromsø, Spitzberg et Fairbanks). Cette opération permit de conserver du gaz pour la commande d'attitude, si bien qu'une seconde exploration du ciel après la saison d'éclipse 1972–73 devait être possible. L'opération fut couronnée de succès et TD-1A fut remis en service pour une nouvelle période de six mois en février 1973. Le réseau antérieur de poursuite fut renforcé par des stations supplémentaires dans des endroits aussi exotiques que les Iles Kerguelen, Ahmedabad (Inde), Tel-Aviv (Israël), le sud du Groënland et le Mexique.

Le premier satellite géostationnaire de l'ESA, Geos-1, fut lancé en avril 1977, mais à la suite d'un mauvais fonctionnement du lanceur Delta il vint se placer sur une orbite tout à fait inattendue. L'altitude de l'apogée était de 11 750 km au lieu des 36 000 km prévus, et le satellite ne tournait pas sur lui-même à la vitesse





Les antennes IUE du réseau SATAN à Vilspa, Villafranca (Espagne). Au premier plan: antenne VHF pour liaisons montantes; à l'arrière-plan: antenne S pour liaisons descendantes.

La salle des ordinateurs à Vilspa avec les périphériques à l'arrière-plan.

prévue de 90 tours par minute mais semblait être animé d'un mouvement désordonné autour de son centre de gravité. Il fut ultérieurement déterminé qu'il décrivait un cône d'angle au sommet égal à 25° à raison de 1,5 tour par minute environ.

L'ESOC prit immédiatement la situation en mains en portant la vitesse de rotation du satellite à 12 tours par minute, tout en s'attachant à déterminer son orbite. Entretemps, l'équipe chargée de conduire la mission et le directeur du projet se chargeaient de reprogrammer la mission en temps réel. Du fait de la dégradation des panneaux solaires à chaque nouveau passage du satellite à travers les ceintures de van Allen, il était essentiel de faire gagner à celui-ci une orbite plus



Surveillance des données en temps réel dans la salle de contrôle Exosat à l'ESOC.

haute. Restait à savoir quel type d'orbite serait le meilleur du point de vue scientifique. Le moteur auxiliaire d'apogée de Geos ayant une poussée fixe ($\Delta V = 1790$ m/s), et vu les caractéristiques de l'orbite initiale (11 752 × 246 km), il n'était pas question de rejoindre l'orbite des satellites géostationnaires.

Des études systématiques d'orbites de 8 heures, de 12 heures et de 24 heures furent effectuées par les analystes de mission de l'ESOC, et une discussion intensive avec les équipes de projet et les responsables scientifiques eut lieu. Après s'être livré à une analyse de compromis entre divers paramètres, on décida d'injecter le satellite sur une orbite lui faisant accomplir une révolution toutes les douze heures.

Geos-1 fut injecté avec succès sur l'orbite de 'secours' prévue et livra de précieux renseignements scientifiques d'avril 1977 jusqu'au lancement de Geos-2.

Geos-2 fut injecté sur l'orbite des satellites géostationnaires en juillet 1978 et fournit dès lors des données scientifiques précieuses pendant cinq années et demie. Cette mission exigea un système informatique puissant non seulement pour traiter la grande quantité de données scientifiques qui étaient continuellement reçues, mais aussi pour programmer et traiter la séquence de télécommande automatique. Au plus fort de la période d'activité scientifique du satellite en 1978–79, plus de 40 000 ordres étaient transmis chaque jour à Geos-2 pour la conduite des expériences. Le taux d'échec des télécommandes était négligeable.

Après les débuts mouvementés de Geos-1, le reste des missions scientifiques de l'ESA semble presque routinier. Mais ISEE-B, IUE et Exosat continuent à être pris en charge et à fournir des données scientifiques précieuses.

IUE fut le premier exemple d'un programme scientifique en coopération utilisant le concept d'observatoire pour l'astronomie. La station de contrôle et l'observatoire de Villafranca gèrent la mission pendant 8 heures chaque jour pour des astronomes européens, tandis que le Centre de vols spatiaux Goddard dans le Maryland fait de même pour les astronomes américains pendant 16 heures chaque jour. La commande des opérations du télescope UV et de la plate-forme du satellite est donc 'transférée' deux fois par jour, de part et d'autre de l'Atlantique entre Madrid et Washington, et il en est ainsi chaque jour depuis avril 1978.

Ce concept d'observatoire fut envisagé dans la conception des installations de contrôle de la mission Exosat, et l'observatoire Exosat de l'ESOC, avec visualisation 'pleine couleur' pour la surveillance en temps réel du programme d'observation astronomique est en service continu depuis mai 1983.

Exploitation des satellites d'application

Le premier satellite géostationnaire de l'ESA fut également son premier satellite d'application. Météosat-1, lancé en novembre 1977, fut mis à poste à 0° de longitude, et la première image en lumière visible fut reçue à l'ESOC le 9 décembre 1977. Depuis cette date, des images dans le visible et dans l'infrarouge ont été produites régulièrement pour la communauté météorologique européenne. Météosat-2, lancé en juin 1981, reprit la mission première de fourniture d'images de Météosat-1 en juillet 1981.



Démonstration de la capacité de transmission d'images télévisées en direct par OTS.

Les produits de Météosat sont devenus des outils vitaux pour les météorologues et les climatologues européens.

En 1983, le programme Météosat opérationnel a été approuvé et l'ESA va maintenant se voir confier la tâche de fournir un service continu jusque dans les années 1990.

OTS-2, lancé en mai 1978, fut initialement exploité par l'intermédiaire de la station de télémesure, télécommande & localisation de Fucino. Le programme d'essais en orbite, qui dura de mai à novembre 1978, était un programme de qualification intensif visant à fournir une analyse qualitative complète des performances de la charge utile.

En outre, les performances d'OTS-2 ont été continuellement évaluées depuis son lancement. Nombre des modifications qui furent apportées à la conception des futurs satellites de télécommunications de l'Agence sont le résultat des essais et analyses opérés sur OTS.

Au cours de ses deux dernières années de fonctionnement, OTS fut utilisé par EUTELSAT pour acheminer régulièrement le trafic TV.

Marecs-A, lancé en décembre 1981, fut transféré à INMARSAT pour exploitation en mai 1982 après un programme intensif de prise en mains et de recette en orbite. Mis à part quelques problèmes initiaux d'accumulation de charges électrostatiques, il s'est comporté de façon excellente. Utilisé par INMARSAT comme principal satellite de télécommunications maritimes au-dessus de l'Atlantique, il fournit maintenant régulièrement jusqu'à 46 canaux à fréquence vocale accessibles aux utilisateurs.

ECS-1, lancé en juin 1983, fut transféré pour exploitation commerciale à EUTELSAT le 12 octobre 1983 après un long programme de prise en mains et de recette. ECS-1 assure maintenant un service continu à EUTELSAT sur dix répéteurs.

ECS-1 est exploité par l'ESA depuis la station de poursuite de Redu où un centre directeur et une station de télémesure, télécommande et localisation furent construits tout exprès pendant les années 1980–82. Les installations de contrôle de Redu sont capables de gérer jusqu'à trois satellites du type ECS.

SATELLITES D'APPLICATIONS DE L'ESA

Satellite	Lanceur	Date de lancement	Fin de vie utile	Mission	Fréquence* de transmission
Météosat-1	Delta	Nov. 1977	–	Météorologie	S,L,U(V)
OTS-2**	Delta	Mai 1978	Mars 1984	Expérience transmission et propagation des ondes radio Transmission de données et essais de télévision	Ku(V)
Météosat-2	Ariane	Juin 1981	–	Météorologie	S,L,U(V)
Marecs-A	Ariane	Déc. 1981	Prévu 7 ans	Service de communications maritimes pour INMARSAT	C,L(V)
ECS-1	Ariane	Juin 1983	Prévu 10 ans	Service de communications fixes pour EUTELSAT	Ku, V(V)

* Fréquences radioélectriques désignées par des codes internationaux. La liaison descendante est donnée la première. Entre parenthèses figure la fréquence auxiliaire.

** OTS-1 fut détruit à la suite de l'échec du lanceur Delta en septembre 1977.

Evolution des systèmes de traitement de données

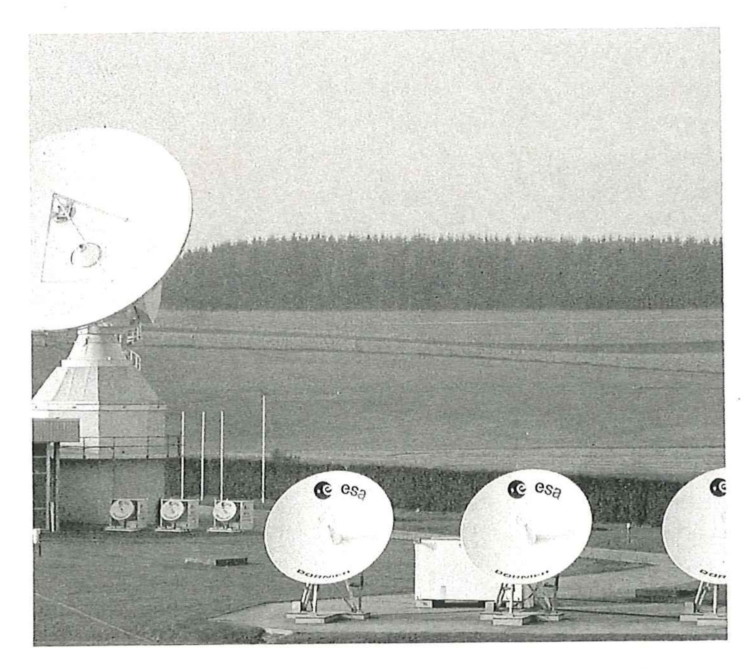
Il y a eu une forte interaction entre, d'une part, les systèmes de traitement de données de l'Agence utilisés pour la commande des satellites ainsi que pour l'acquisition et la distribution des données concernant la charge utile et, d'autre part les conceptions du satellite et de la charge utile. Les systèmes de traitement de données ont eu à répondre aux exigences d'un perfectionnement accru mais ils ont eux-mêmes influencé les exigences plus contraignantes des missions.

Par ce processus d'action et de réaction, lesdits systèmes ont évolué: les très simples systèmes de soutien uni-satellite, capables de traiter des débits de télémesure de l'ordre de quelques centaines de bits par seconde seulement et d'envoyer quelques ordres par jour, sont devenus des systèmes multi-satellite extrêmement perfectionnés, traitant des débits d'information de plusieurs centaines de kbits/s et envoyant chaque jour plusieurs milliers d'ordres aux satellites dont ils ont la charge.

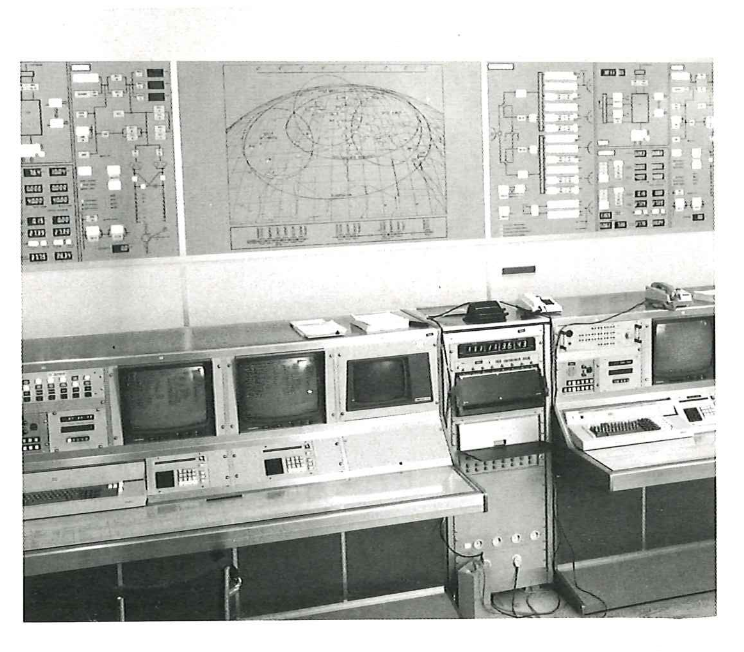
Loin de simplifier le logiciel au sol, la présence d'une logique embarquée dans les différents sous-systèmes des satellites et dans les charges utiles rend celui-ci plus complexe (afin de pouvoir rétablir un fonctionnement normal en toutes circonstances lorsque des pannes viennent à se produire).

L'accroissement spectaculaire des performances du système de traitement des données au sol, au moins mille fois meilleures qu'il y a 20 ans, n'aurait pas été possible sans les efforts conjugués des constructeurs d'ordinateurs et des ingénieurs en logiciel, qui ont permis d'améliorer à la fois la vitesse de traitement des données et les capacités du logiciel.

Considérons tout d'abord les progrès réalisés dans le matériel: au milieu des années 1960, seules de très grosses unités centrales étaient capables d'exécuter plusieurs milliers d'opérations par seconde. La capacité de la mémoire principale était limitée à quelques dizaines de milliers de mots, et celle des mémoires de masse était également limitée à quelques millions d'octets. Le temps statistique



Antennes ECS à Redu, Belgique.



Pupitre de commande à la station sol d'ECS à Redu.

Le Centre de Commande des Opérations à l'ESOC en 1983.

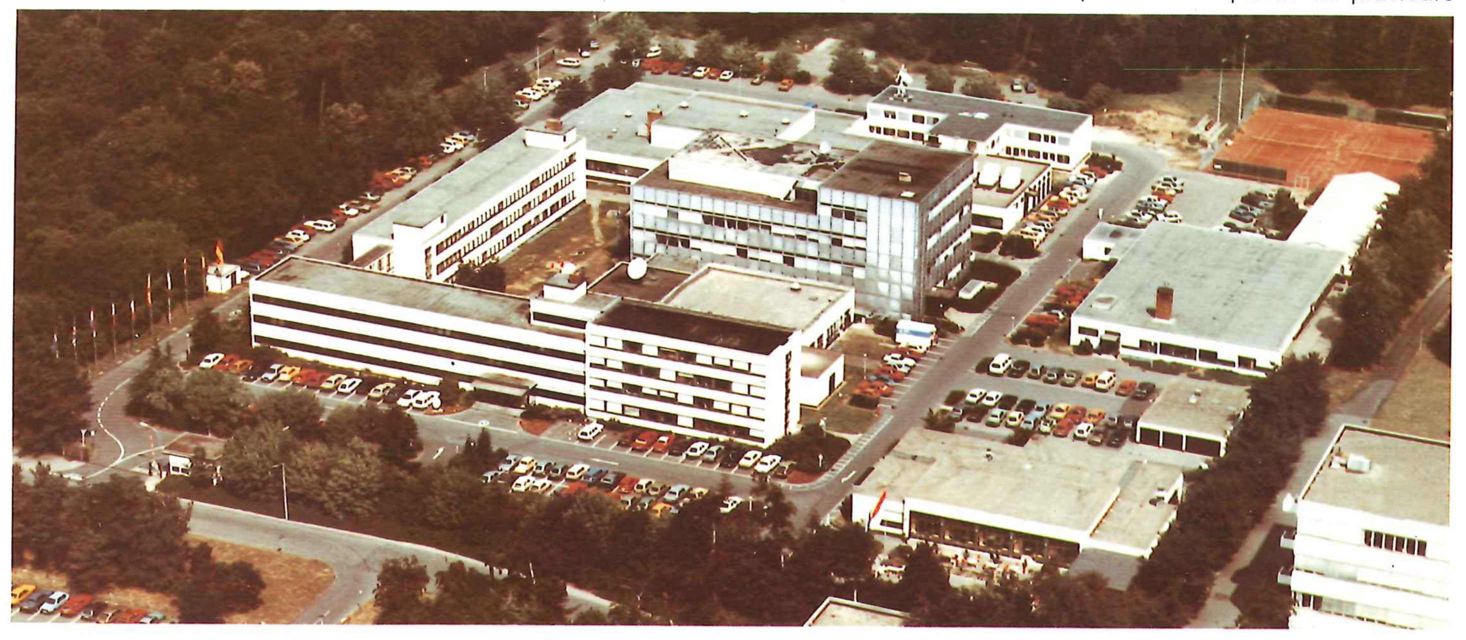


moyen entre deux pannes était de l'ordre de quelques heures, et il était pratiquement impossible de relier des ordinateurs entre eux.

Aujourd'hui, pour ne prendre qu'un exemple bien connu d'une évolution incroyable, un microprocesseur 32 bits peut avoir une mémoire principale de 2^{24} octets (plus de 16 millions d'octets) avec une capacité d'adressage théorique de 2^{32} octets. (soit plus de quatre milliards d'octets) et peut exécuter plus de deux millions d'opérations par seconde. Du fait des capacités de traitement multitâche et de fonctionnement simultané de la machine, on peut grandement accroître ces performances en mettant tout simplement plusieurs processeurs en parallèle; et voilà pourtant ce qu'on appelle un 'microprocesseur'.

Une machine cellulaire perfectionnée (à organisation matricielle) peut d'ores et déjà traiter jusqu'à plusieurs centaines de 'mégaflops' (millions d'opérations en virgule flottante par seconde). Des unités de disque d'une capacité de plusieurs

Le site de l'ESOC à Darmstadt en 1983.



giga-octets sont déjà sur le marché. Pratiquement n'importe quel ordinateur peut être connecté à d'autres ordinateurs par l'intermédiaire de réseaux privés ou publics, encore que le coût de ces connexions soit très élevé. La fiabilité des ordinateurs a également augmenté, probablement d'un facteur 1000 en 20 ans.

Le logiciel a lui aussi grandement évolué, d'une discipline artisanale à une discipline technique mûre. Le processus de production du logiciel est maintenant parfaitement compris dans toutes ses implications et est divisé en phases distinctes. L'industrie aérospatiale, avec ses applications de haute technicité et grâce à des investissements importants dans les études de normalisation, a contribué à la maturation de cette discipline.

L'Agence, sous l'impulsion de ses spécialistes et du 'Bureau de normalisation et de contrôle des logiciels', composé d'ingénieurs confirmés provenant de l'ESTEC et de l'ESOC, a suivi de très près cette activité. Des pratiques standard pour l'élaboration des logiciels, ajustées aux besoins de l'Agence, ont été codifiées (document BSSC(84)1 – 1ère édition – Normes de l'ESA en matière de génie logiciel). La méthodologie qui y est décrite permet aux responsables de l'élaboration des logiciels de mieux maîtriser le développement des programmes d'ordinateur et d'entretenir un dialogue avec l'industrie du logiciel et l'industrie aérospatiale sur des bases communes, pour aboutir en définitive à de meilleurs produits logiciels.

Aujourd'hui, des aides bien meilleures à l'élaboration des logiciels peuvent être obtenues des constructeurs d'ordinateurs. Les dispositifs de traitement de texte rendent beaucoup plus facile le processus de documentation et de maintien à jour de la documentation tout au long du cycle de vie du logiciel.

On se serait probablement attendu à un progrès plus rapide des langages de programmation. La majeure partie du logiciel de l'Agence est encore écrite en FORTRAN, langage inventé il y a vingt ans environ, encore que les versions disponibles aujourd'hui comportent des améliorations substantielles. Mais, jusqu'à ce que des compilateurs de langages plus modernes tels que l'ADA, soient mis plus couramment à disposition par les fournisseurs de matériel, il serait peu pratique d'amorcer une conversion progressive à ces nouveaux langages. A l'exception possible de ce dernier point, les langages de programmation, les progrès technologiques réalisés en matière de matériel et de logiciel ont permis à l'ESA de donner une réponse positive aux exigences contraignantes des missions actuelles. On tire pleinement parti des progrès offerts par la technologie actuelle des matériels et des logiciels en suivant une démarche intégrée aux termes de laquelle les satellites, les charges utiles, les installation au sol et les utilisateurs sont considérés, d'un point de vue opérationnel, comme un système 'bout-en-bout'.

Cette démarche est assortie d'un effort de normalisation des interfaces homme-machine, du matériel informatique, des interfaces de communication, du logiciel, et des structures de données.

L'Agence est ainsi devenue capable de prendre en charge son programme multimission d'une manière rentable. La même approche la met également en mesure d'apporter une réponse positive aux problèmes posés par les missions prévues pour les années 1990, au cours desquelles on aura à traiter des débits d'information allant jusqu'à 10^{14} bits par jour.

Manifestes Ariane et Spacelab (1984–1987)

Année	*Mois*	*Numéro du vol*	*Satellites*
1984	Mars	V8 (AR-1)	Intelsat-V F8
	Mai	V9 (AR-1)	Spacenet-1
	Juillet	V10 (AR-3)	ECS-2
			Telecom-1A
	Septembre	V11 (AR-3)	Marecs-B2
			G-Star 1B
	Novembre	V12 (AR-3)	Arabsat-A
			Spacenet-2
1985	Janvier	V13 (AR-3)	Telecom-1B ou SBTS-1
			G-Star 1B
	Mars	V14 (AR-3)	SBTS-1 ou Telecom-1B
			Spacenet-3
	Mai	V15 (AR-1 or -2)	SPOT-1/Viking ou Intelsat-V
	Juillet	V16 (AR-1)	Giotto
	Août	V17 (AR-3)	SBTS-2
			ECS-3
	Septembre	V18 (AR-2)	TV-Sat
	Octobre	V19 (AR-2 ou -1)	Intelsat-V ou SPOT-1/Viking
	Novembre	V20 (AR-2)	TDF-1
1986	Janvier	V21 (AR-2)	Intelsat-VA F15
	Mars	V22 (AR-4)	Ariane 4 - 01 (démonstration)
	Mai	V23 (AR-2)	Intelsat-VA F13
	Juin	V24 (AR-3)	Disponible
	Août	V25 (AR-4)	Unisat-1 (R)
			Disponible
	Novembre	V26 (AR-3)	STC (R)
			Disponible
	Décembre	V27 (AR-4)	Intelsat-VI (R)
1987	Février	V28 (AR-4)	Tele-X (C)
			Unisat-2 (R)
	Mars	V29 (AR-3)	DBSC-1 (R)
	Avril	V30 (AR-4)	Intelsat-VI (R)
	Mai	V31 (AR-3)	TDF-2 (R)
	Juin	V32 (AR-3 ou -4)	DFS-1 (R) ou Anik (R)
			Météosat-1 opérationnel (C)
	Juillet	V33 (AR-3)	Olympus (C)
	Août	V34 (AR-4)	Intelsat-VI (R)
	Septembre	V35 (AR-3)	DBSC-2 (R)
	Octobre	V36 (AR-4)	Italsat (R)
			Rainbow (R)
	Décembre	V37 (AR-2)	SPOT-2 (C)

Jusqu'à V23 incl.: Contrats fermes
Après V23: (C) = Contrat
(R) = Réservation

Année	*Mois*	*Numéro du vol*	*Charges utiles*
1983	28 Nov.	STS 41-A	SL-1
			Module long + 1 palette
1984	29 Août	STS 41-G	OSTA-3
			(Palettes)
	21 Nov.	51-B	SL-3
			Module court
1985	29 Mars	STS 51-F	SL-2
			IPS Igloo + 3 palettes
	14 Juin	STS 51-H	EOM-1
			Module court + 1 palette
	20 Sept.	STS 51-K	SL-D1
			Module long
1986	28 Jan.	STS 61-D	SL-4
			Module long
	6 Mars	STS 61-F	ASTRO-1
			(IPS) + 2 palettes
	15 Mars	STS 61-G	SUNLAB
			Pallette
	1 Avr.	STS 62-B	OSTA 5
			Palette
	26 Nov.	STS 71-C	ASTRO-2
			IPS. 2 palettes
	10 Déc	STS 71-D	EOM-2
			(Module court) + palette
1987	28 Jan.	STS 71-F	OAST-2
			Palette
	25 Mars	STS 71-I	SL-D4
			(à définir)
	7 Avr.	STS 72-B	OSTA-7
			Palette
	27 Mai	STS 71-L	SL-8 (IML)
			Module long + 1 palette
	29 Juil	STS 71-O	ASTRO-3
			IPS. Palettes
	11 Nov.	STS 81-C	EOM-3
			(Module court) + palette
	1 Déc.	STS 82-A	OSTA-9
			Palette
	16 Déc.	STS 81-E	TSS-1
			Palette

Les systèmes de transport spatial

S'il y a un chapitre dans ce 'rapport de 20 ans' qui suscite quelque chagrin, c'est bien celui qui traite des déboires de l'ELDO. Cependant il apparaît, à la réflexion, que le problème reposait essentiellement sur le manque de coordination dans le processus de mise au point du lanceur plutôt que sur l'insuffisance du niveau technique de l'Organisation et des industries concernées. Quoi qu'il en soit, le succès d'Ariane et la place qu'il occupe aujourd'hui sur le marché des lanceurs sont la preuve que les leçons de l'ELDO ont été apprises et mises en application.

Ariane – comme d'ailleurs Spacelab – a été un programme cher parmi l'ensemble des programmes de l'Agence. L'échec de deux lanceurs sur les cinq premiers lancements a jeté quelque doute sur la capacité de l'Europe dans ce domaine, peut-être à cause du souvenir encore vivace de l'ELDO, mais les trois derniers lancements ont vite dissipé les doutes. Autre preuve amplement suffisante de la solidité du lanceur: le manifeste Ariane. Quel organisme spatial ou fabricant de satellites se risquerait-il à miser sur un lanceur qui n'aurait pas encore fait ses preuves?

Tandis que des versions plus évoluées du lanceur se développent, avec une capacité d'emport de plus en plus grande, l'Europe affirme son indépendance en matière de lancement, réalisant ainsi un objectif poursuivi depuis 20 ans.

* * *

Spacelab a concrétisé, plus que tout autre programme dans la brève histoire de l'exploration et de l'exploitation pacifiques de l'espace, le besoin essentiel d'une coopération internationale, et les résultats fructueux de celle-ci. Cela est vrai non seulement entre les nations de l'Europe occidentale qui ont conçu et construit le Laboratoire spatial, mais aussi entre l'Agence spatiale européenne, représentant ces nations, et la NASA américaine qui exploite le Spacelab en tant que partie de son 'Système de Transport spatial' (STS).

Depuis la soute de l'Orbiter, les deux éléments fondamentaux du Spacelab – un module pressurisé et une palette non pressurisée – qui peuvent être utilisés séparément et en combinaison, offrent aux scientifiques de nouveaux moyens pour mener des expériences en orbite proche de la terre, et pour récupérer aussi bien le matériel d'expérience que les spécimens.

Une collaboration internationale a, par nécessité, été établie à différents niveaux: politique, gestionnel et technique. Au cours d'une bonne dizaine d'années de planifications, de conceptions, d'essais et de préparatifs, un grand nombre d'opinions, d'idées et de méthodes nées de fonds culturels différents ont dû être confrontées et assimilées pour aboutir à une heureuse conclusion.

Spacelab en est le résultat.

L'ELDO

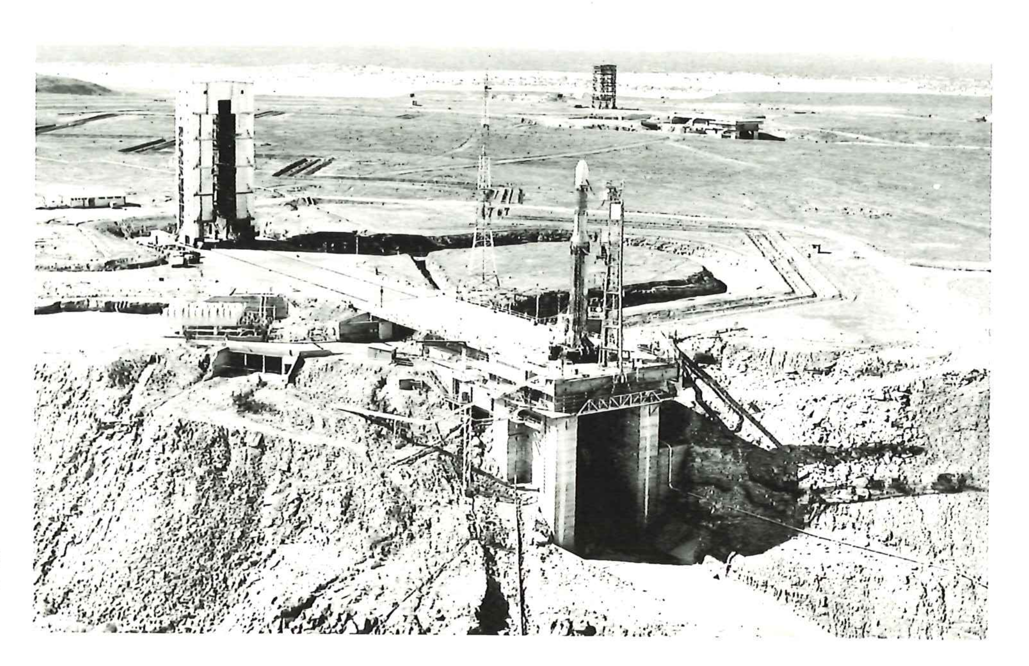
HISTORIQUE

En avril 1960, suite à une révision de sa doctrine stratégique, le Gouvernement britannique décida d'arrêter la mise au point, à des fins militaires, du missile 'Blue Streak'. L'étude, commencée en mai 1959, d'une refonte éventuelle du projet afin de répondre aux exigences pacifiques de l'exploration de l'espace, fut donc menée avec vigueur. Dès septembre 1960, le Royaume-Uni invita un certain nombre de pays européens à indiquer s'ils regarderaient d'un oeil favorable la possibilité de se joindre à une organisation européenne dont le but serait la construction en commun de lanceurs de satellites lourds utilisant 'Blue Streak' comme premier étage. Suite à ce premier ballon d'essai diplomatique, les autorités du Royaume-Uni soumirent des propositions techniques aux représentants des Etats européens en janvier 1961. La France ne tarda pas à appuyer la proposition britannique avec une suggestion pour l'utilisation d'une fusée française comme second étage d'un tel véhicule.

C'est ainsi que les Gouvernements britannique et français invitèrent la Belgique, le Danemark, la République fédérale d'Allemagne, l'Italie, les Pays-Bas, la Norvège, l'Espagne, la Suède et la Suisse à se joindre à eux dans une conférence pour discuter de la création d'une organisation européenne pour la mise au point d'un lanceur de satellites.

A la conférence qui se tint à Strasbourg du 30 janvier au 2 février 1961 (l'Autriche, le Canada, le Grèce et la Turquie étant représentés par des observateurs), un certain nombre de principes fondamentaux furent établis:

– Le premier programme de l'Organisation consisterait dans la mise au point d'un lanceur à trois étages et d'une première série de véhicules d'essais de satellites. Le premier étage serait construit par le Royaume-Uni, le second par la France, le troisième étage et les satellites étant construits par les autres Etats membres. Des essais de mise à feu du



Vue générale de la base de Woomera (Australie occidentale) avec Europa I sur la table de lancement.

véhicule complet auraient lieu à Woomera, en Australie. La possibilité d'autres programmes fut envisagée.

- L'Organisation serait créée uniquement à des fins pacifiques et chercherait à promouvoir dans les pays membres les techniques avancées découlant de son activité.
- Les Gouvernements britannique et français offriraient gratuitement à l'Organisation le savoir-faire déjà acquis par eux à leurs propres frais. En outre, l'Organisation serait autorisée à utiliser les installations existantes dans ces Etats membres et, avec l'accord du Gouvernement australien, en Australie.
- Une collaboration étroite serait établie avec l''Organisation européenne de Recherche spatiale' (ESRO).
- Le coût de la mise au point du véhicule prévu à Strasbourg était estimé à 70 millions de Livres Sterling, à étaler sur cinq années.
- Les contributions financières des Etats membres seraient fixées suivant une échelle à déterminer. Sur ce point, la Conférence rencontra des difficultés parce que le programme qu'elle venait de définir devait tenir compte du fait qu'une très grande proportion du travail de mise au point sur le premier étage devait être faite au Royaume-Uni. Cela excluait le calcul de l'échelle des contributions sur la base du revenu national, comme c'était la pratique normale dans d'autres organisations internationales. Après de longues négociations, le Royaume-Uni proposa une contribution de 33,33%, soit grosso modo un tiers de plus que ce qu'aurait été sa part sur la base du revenu national.

OBJECTIFS TECHNIQUES

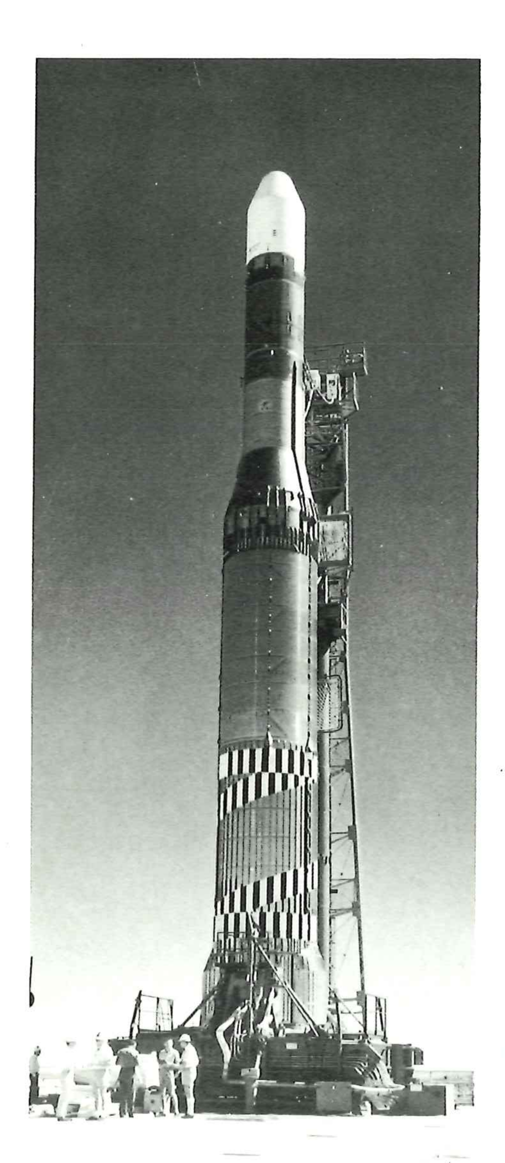
Les propositions anglo-françaises originales, rendues publiques en février 1961, décrivaient ainsi les objectifs de conception d'un système lanceur de satellites:

- un grand satellite de masse comprise entre 500 et 1000 kg sur une orbite quasi circulaire proche de la terre, avec pour objectif premier de faire des observations astronomiques au-dessus de l'atmosphère terrestre;
- un satellite plus petit d'une masse de quelques centaines de kilogrammes, décrivant une orbite excentrique de rayon égal à deux à trois fois celui de la terre, pour l'exploration des champs gravitionnel, magnétique et de rayonnement de la terre, et de la constitution de l'espace extra-atmosphérique;
- un satellite d'une masse de l'ordre de 50 kg, sur une orbite fortement excentrique d'environ 170 000 km d'apogée, pour emporter des instruments en vue de l'étude de l'atmosphère du Soleil.

L'acceptation de principe de ces propositions conduisit à l'établissement du 'programme initial' de l'ELDO, visant à lancer un premier satellite en 1968.

LE LANCEUR EUROPA I

Le lanceur ELDO-A (EUROPA I) avait une longueur hors tout de 31,7 m et un poids au lancement de 104 tonnes environ. Il résultait fondamentalement de la disponibilité et du choix de 'Blue Streak' pour son premier étage.



Le lanceur Europa I à Woomera.

Les dimensions des étages supérieurs étaient imposées par la nécessité, pour chaque étage, de contribuer à donner des accroissements de vitesse égaux à la charge utile. Ces considérations, ainsi que d'autres, conduisirent au choix du second étage français de 28 tonnes de poussée et du troisième étage allemand avec deux niveaux de poussée, un moteur principal donnant deux tonnes de poussée et deux moteurs vernier plus petits de 40 kg de poussée chacun.

Le second étage – appelé Coralie – dérivait de la mise au point, après la guerre, de fusées françaises dans la gamme de 4 à 30 tonnes de poussée, basées sur des concepts classiques et utilisant les meilleurs propergols d'énergie moyenne disponibles.

Le moteur allemand et sa structure étaient des concepts sophistiqués en raison des performances exigées du troisième étage. Le moteur vernier 'servomoteurs' et la structure en titane représentaient alors des conceptions originales et modernes comparables à la technologie américaine avancée.

Le premier plan d'ensemble du programme initial remontait à février 1961. Il couvrait le lancement de 10 satellites, en trois phases: quatre 'tours' de 'Blue Streak' seul en 1962–63, suivis par trois tours d'un véhicule à trois étages avec des étages supérieurs factices avant la fin de 1964, et enfin trois tours du véhicule complet en 1965. Ce programme présupposait que le travail commencerait immédiatement mais, par suite de retards dans la mise en route, il dut être révisé une fois que des informations suffisantes furent disponibles. Par ailleurs, bien que le nombre total de dix tours fût conservé, ainsi que la division susmentionnée en trois phases, des modifications importantes de définition technique furent introduites, notamment suite à la décision de charger l'Allemagne de la mise au point d'un troisième étage techniquement évolué.

ACTIVITES OPERATIONNELLES DE L'ELDO

Le programme Europa I et II peut être divisé en quatre phases:

- La première phase comporta trois mises à feu du premier étage seul, en juin 1964, octobre 1964 et mars 1965: toutes trois furent réussies.
- La seconde phase comporta le lancement du lanceur à trois étages complet, Europa I. Les véhicules F4 et F5, avec des étages supérieurs inertes et un véhicule d'essai de satellite, furent lancés avec succès en mai et novembre 1966. Les véhicules F6/1 et F6/2 furent respectivement lancés en août et décembre 1967. Ces derniers véhicules contenaient un premier et un second étages réels et un troisième étage inerte; tous deux n'eurent qu'un succès partiel.
- La troisième phase couvrit une série de lancements d'Europa I avec tous les étages réels. F7 fut lancé en novembre 1968 et F8 en juillet 1969, tous deux avec un succès partiel seulement. F9 fut lancé en juin 1970 et atteignit la quasi-totalité de ses objectifs, mais suite à des défauts mineurs, il s'en fallut de peu que le satellite fût injecté sur orbite. F9 fut le dernier lancement à partir de Woomera.
- La quatrième phase avait pour objectif la qualification de la base de lancement en Guyane française et du lanceur Europa II. Europa II différait d'Europa I principalement par l'addition d'un quatrième étage et par

l'utilisation d'un système de guidage par inertie. Dans cette phase, la qualification de la base fut réalisée par essai statique du véhicule de référence à plusieurs étages, véhicule totalement représentatif d'Europa II mais non destiné au lancement, et par le lancement de F11 qui, bien que son vol fût un échec, fut préparé pour le lancement et lancé de manière satisfaisante.

Après l'échec de F11, le Conseil nomma une 'Commission de Revue de Projet' chargée de procéder à une revue critique non seulement des aspects techniques du projet mais aussi de l'organisation du travail.

Au niveau de la conception, l'absence de spécifications précises avait conduit non seulement à un manque d'homogénéité entre les étages, mais aussi à:

- l'utilisation, en partie par nécessité, de solutions compliquées pour la conception du troisième étage,
- de sérieuses erreurs de conception pour l'intégration des systèmes de guidage et de télémesure du troisième étage,
- des défauts mineurs dans le quatrième étage.

Dès le début des investigations, il apparut que l'échec était dû à des phénomènes complexes et reliés entre eux. Des efforts considérables furent déployés par l'ELDO et par plusieurs contractants et sous-traitants ainsi que par d'autres organisations (ONERA, LRBA et Istituto Galileo Ferraris) pour résoudre le problème.

Europa III.

EUROPA III

Le travail préparatoire en vue du programme de mise au point d'Europa III commença en avril 1969 lorsque la Conférence Ministérielle de l'ELDO décida d'entreprendre la phase de définition d'un lanceur européen capable de mettre 750 kg sur orbite de satellite géostationnaire. La Conférence spatiale européenne, lors de sa réunion du 20 décembre 1972 à Bruxelles, décida cependant de ne pas procéder au programme de mise au point d'Europa III.

ETUDE SUR LA PARTICIPATION EUROPEENNE AU PROGRAMME POST-APOLLO

C'est en octobre 1969 que le Docteur Paine, à l'époque Administrateur de la NASA, proposa aux Européens – dans un discours au Comité des Suppléants de la Conférence spatiale européenne – de prendre part à la mise au point du nouveau programme spatial américain qui venait d'être soumis au Président Nixon. Le Comité des Suppléants demanda à l'ELDO et à l'ESRO d'étudier cette proposition.

En avril 1970, le Conseil de l'ELDO autorisa le Secrétariat à effectuer une étude dans l'industrie sur le remorqueur spatial. La réunion de la CSE au niveau ministériel en juillet 1970 approuva, en outre, un budget qui permettait l'extension des études de système aussi bien en ce qui concernait le transport dans l'espace que la station spatiale (cette dernière par l'ESRO), et qui permit également d'entreprendre des études technologiques, principalement relatives à la Navette spatiale.

Un moment historique: le lancement d'Ariane L01 en décembre 1979.

Lorsqu'il devint clair que le seul élément qui reste pour une éventuelle participation européenne au programme post-Apollo américain était le Laboratoire spatial, il fut mis fin à tous les travaux commandités par l'ELDO sur des études concernant le remorqueur spatial et sur la technologie de la Navette. La dernière réunion du 'Comité directeur ELDO/NASA sur le Remorqueur' eut lieu en octobre 1972.

Naissance du programme Ariane

Dès 1970 le développement spectaculaire des applications spatiales avait conduit l'Europe à prendre conscience de l'importance politique et économique de l'utilisation de l'espace. Tout laissait prévoir que la décennie 1980–90 verrait la mise en place de systèmes spatiaux opérationnels et commerciaux de télécommunications, de télévision directe, de météorologie et d'observation de la Terre; plusieurs études datant de 1973 estimaient que 180 satellites, dont 23 pour l'Europe, seraient placés sur orbite de géosynchronisme au cours de cette décennie. Ces prévisions sont à l'heure actuelle largement confirmées.

Si l'Europe voulait garantir son indépendance vis-à-vis des puissances disposant de moyens de lancement et prendre sa part du marché international des satellites d'applications, il était indispensable qu'elle dispose d'un lanceur compétitif. C'est le sens de la décision prise le 31 juillet 1973 à Bruxelles par les Ministres chargés des affaires spatiales de 10 pays européens.

Ariane 1

CADRE D'EXECUTION

La décision prise à Bruxelles en 1973 s'est concrétisée par un Arrangement entre les Etats participant au programme Ariane et l'ESRO, devenu depuis l'Agence spatiale européenne.

Le programme de développement du lanceur Ariane est un programme facultatif de l'Agence spatiale européenne; son objectif est d'assurer à l'Europe une capacité de lancement autonome nécessaire à l'exécution de son programme spatial et de permettre à l'industrie spatiale d'obtenir une part significative des marchés spatiaux à l'exportation, qu'il s'agisse de ventes de satellites ou de services de lancements.

L'Arrangement contient les dispositions essentielles suivantes:

- Les Etats participent en fonction de l'intérêt politique et industriel qu'ils trouvent dans le programme.
- L'enveloppe financière du programme de développement était fixée à 380 MUC au niveau des prix de janvier 1973. Les Etats participants s'engageaient en outre à couvrir les aléas techniques jusqu'à concurrence de 20% de l'enveloppe; la France apportait en outre la garantie complémentaire de financer seule les dépassements éventuels supplémentaires dans la limite des 15% de l'enveloppe.
- Un Conseil directeur de Programme, composé des représentants des Etats participants, assume la responsabilité du programme et prend toutes décisions le concernant.

- La gestion du programme de développement est confiée au CNES et le contrôle de son exécution à l'ESA.

SITUATION DU PROGRAMME

Après l'exécution d'un programme de qualification au sol et de quatre essais en vol, à savoir:

– L01	Capsule Ariane technologique (CAT)	24 décembre 1979
– L02	Firewheel + CAT	23 mai 1980 (échec)
– L03	Météosat 2 + Apple + CAT	19 juin 1981
– L04	Marecs A + CAT	20 décembre 1981

Le Conseil directeur a déclaré le lanceur qualifié et donc apte aux vols opérationnels, mettant un terme au développement du lanceur Ariane 1.

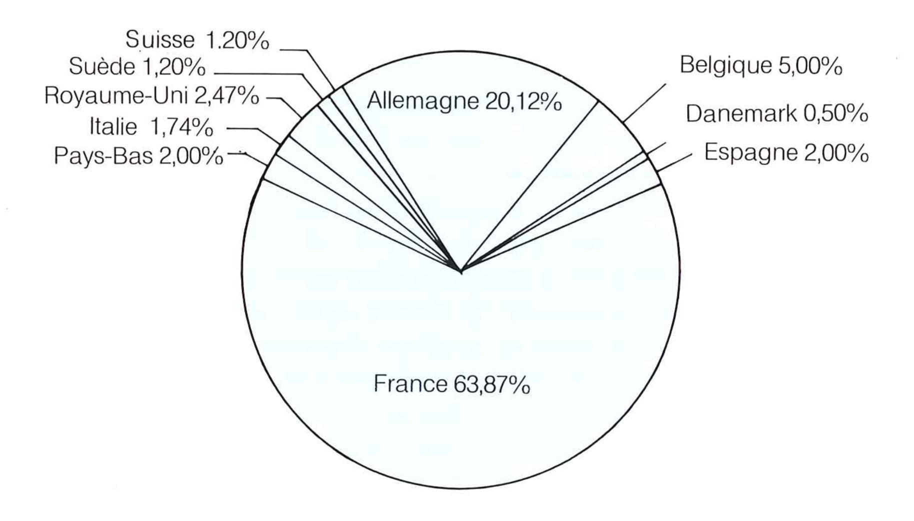
Le coût à achèvement du développement est de 960 MUC et correspond à l'engagement à 120% des Etats participants.

QUELQUES DONNEES MARQUANTES

L'objectif technique était la mise au point d'un lanceur d'une performance de 1500 kg en orbite de transfert géosynchrone; cette performance a finalement été portée à 1845 kg, performance offerte au satellite F8 de la série Intelsat V.

Un grand volume d'outillage de fabrication et d'intégration ainsi que des investissements importants ont été réalisés au titre du développement; leur valeur atteint 246 MUC au 1er janvier 1984 (conditions économiques moyennes 1978). Les principales réalisations sont:

- le bâtiment d'intégration SIL à la SNIAS (Les Mureaux) pour 35 MUC
- les bancs d'essais de la SEP (Vernon) pour 68 MUC
- l'ensemble de lancement ELA 1 (Kourou) pour 74 MUC



- l'ensemble de préparation des charges utiles (Kourou) pour 13 MUC
- les stations aval de Natal et d'Abidjan-Akakro pour 19 MUC.

La série de promotion

ORIGINE

En raison des délais d'approvisionnement et de fabrication d'un lanceur, la production de lanceurs opérationnels a été entamée avant l'achèvement de la phase de développement pour éviter une rupture entre les lancements de développement et les lancements opérationnels.

La décision d'entreprendre la production des lanceurs Ariane a été prise par l'Agence en avril 1978; elle couvre la fabrication et le lancement sous la responsabilité de l'Agence d'une première série, appelée 'Série de Promotion', de six lanceurs opérationnels.

Dans le cadre de la Série de Promotion sont également réalisés l'Ensemble de Préparation des Charges Utiles (EPCU) et le développement d'un dispositif pour le lancement simultané de deux satellites (SYLDA: Système de Lancement double Ariane).

L'Agence négocie et conclut les contrats de lancement avec les utilisateurs d'Ariane. Les contrats industriels pour la fabrication des lanceurs sont passés par le CNES qui effectue pour l'Agence les opérations de lancement.

AVANCEMENT

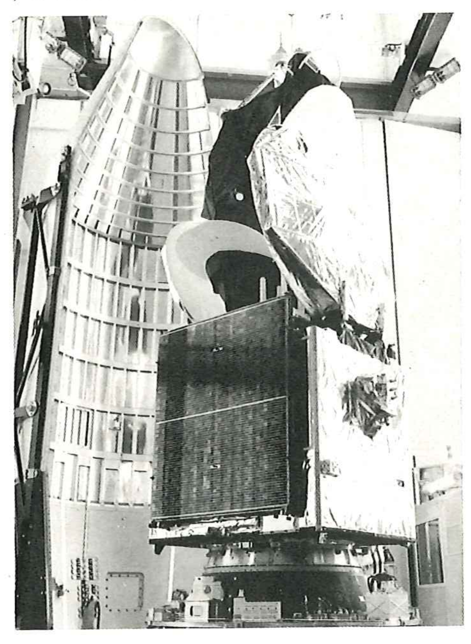
Le calendrier de fabrication prévoit la livraison d'un lanceur tous les deux mois et demi, le premier lanceur opérationnel (L5) ayant été fourni en janvier 1982; les lancements de la Série de Promotion sont prévus dans la période 1982–84 suivant le calendrier suivant:

L5	10 septembre 1982	Marecs B/Sirio 2 (échec)
L6	16 juin 1983	ECS 1/Amsat
L7	18 octobre 1983	Intelsat F7
L8	5 mars 1984	Intelsat F8
L9	22 mai 1984	Spacenet-1
L11	août 1984	Telecom 1A

Après l'échec du lancement L5 en septembre 1982, dû à une détérioration de la turbopompe du 3ème étage, une revue du programme Ariane a examiné l'ensemble des systèmes équipant le lanceur afin d'assurer une haute probabilité de succès pour les lancements suivants. Les trois lancements effectués depuis lors ont été des succès complets, les satellites ECS 1 et Intelsat F7 et F8 lancés en 1983 et 1984 ayant été mis sur les orbites prévues dans des conditions d'environnement confortables.

Des discussions avec INTELSAT ont permis de reporter le 3ème lancement au bénéfice de cette organisation en 1985 pour tenir compte de l'urgence du lancement des premiers clients Arianespace; par ailleurs, il est maintenant prévu de lancer le satellite Telecom 1A en lancement double avec ECS-2 sur un lanceur AR3 pour optimiser la capacité d'Ariane 3.

Préparatifs de lancement d'Intelsat V F7 par Ariane en octobre 1983.



Les lancements commerciaux: Arianespace

Le rôle de l'Agence se limitant au développement et la qualification de produits spatiaux et à la démonstration de leur aptitude à remplir la mission, il a été décidé de confier les lancements opérationnels au-delà de la Série de Promotion à une firme privée créée spécialement à cet effet: Arianespace.

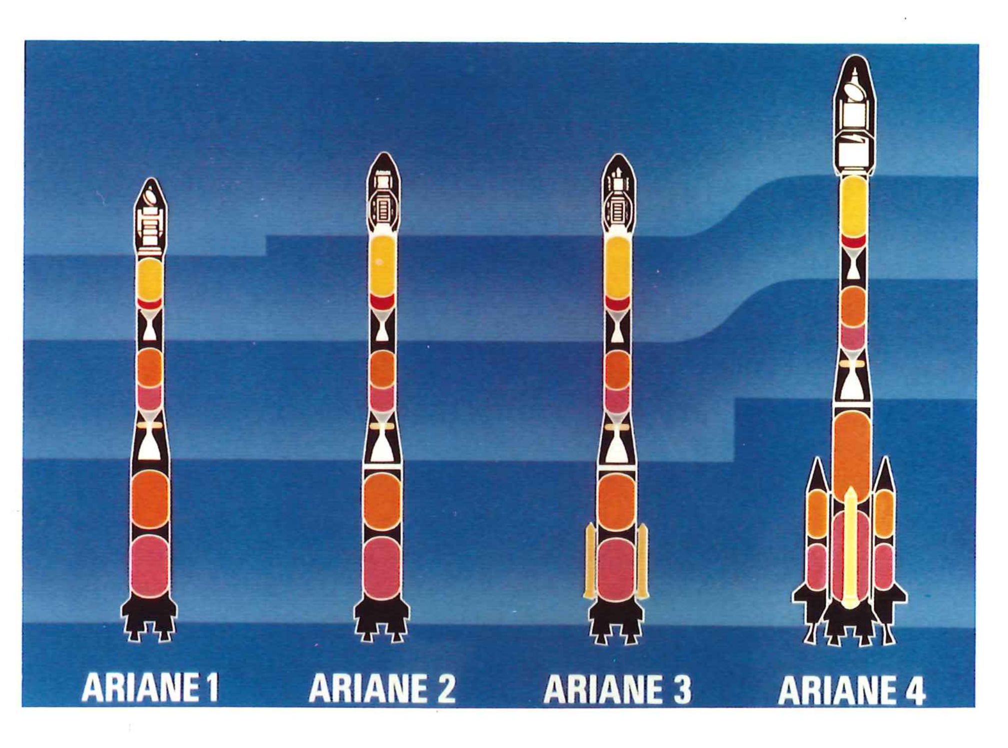
Cette société de droit français a comme actionnaires les firmes ayant participé au développement du lanceur, certaines grandes banques et le CNES.

La fabrication de lanceurs continue à se dérouler à un rythme et à un volume croissant; actuellement, 4 lots de production (soit 19 lanceurs) ont été commandés par Arianespace, auxquels s'ajoute la Série de Promotion, ce qui porte à 25 le nombre de lanceurs (7 AR1, 15 AR2-AR3 et 3 AR4) fabriqués ou en cours de fabrication ou en commande. L'ensemble des fabrications en cours permet de faire face aux lancements au titre de commandes fermes ou escomptées pratiquement jusqu'à la fin 1986.

Le manifeste Ariane prévoit maintenant 5 lancements en 1984, 8 en 1985 et 7 en 1986 (dont le vol de démonstration AR4), correspondant au lancement de 24 satellites identifiés et 4 non encore définis.

Comme on pourra le noter, la clientèle se décompose de
20% pour l'Agence
20% pour les organismes nationaux européens
et 60% pour les clients à l'exportation.

Le taux élevé des ventes à l'exportation démontre le bien-fondé des objectifs initiaux du programme et des versions améliorées du lanceur; ceci est d'ailleurs confirmé par le fait que la presque totalité des satellites à venir sont maintenant



La filière Ariane.

conçus pour être compatibles avec les deux moyens de lancement principaux en concurrence: Ariane et la Navette spatiale américaine.

Il convient également de noter que le carnet de commande d'Arianespace, donc de l'industrie européenne, dépasse maintenant la 'mise' des pays européens pour le développement du lanceur et fournit du travail à environ 3500 personnes.

Ariane 2 et Ariane 3

Les perspectives d'utilisation des techniques spatiales font une place de plus en plus grande aux considérations économiques. Le prix du kilogramme de charge utile en orbite devient un facteur majeur pour les utilisateurs et un élément fondamental dans la concurrence entre divers moyens de lancement. Dans cette optique il a paru nécessaire d'adapter au mieux Ariane aux besoins du marché et de réduire le coût du kilogramme en orbite. Cette exigence associée à une tendance de plus en plus nette à l'accroissement des masses en orbite a conduit à proposer une première étape d'amélioration orientée vers le lancement double de satellites de la classe Delta PAM-D et le lancement de satellites de télévision directe de masse comprise entre 2000–2500 kg, conduisant à une réduction du coût du kilogramme en orbite d'environ 20%.

Le lanceur Ariane 3 sera capable de placer une charge utile de 2580 kg en orbite de transfert géosynchrone (ou deux charges utiles de 1195 kg chacune en lancement double). Cette amélioration est obtenue à partir de la version actuelle du lanceur par:

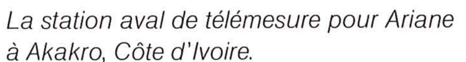
– l'adjonction au premier étage de 2 propulseurs d'appoint de 7 tonnes de masse d'ergols solides fournissant 70 tonnes de poussée chacun;

Tir d'essai d'un propulseur d'Ariane.

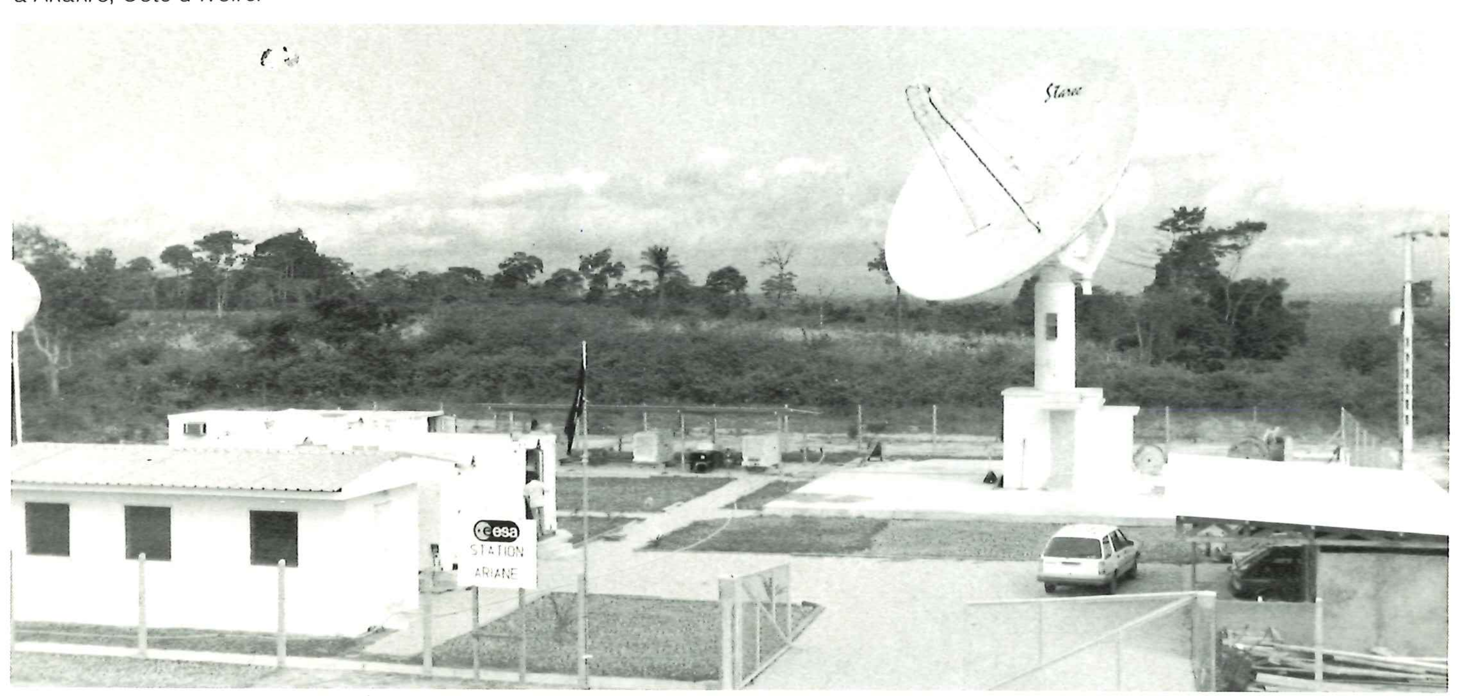
- l'accroissement de la poussée des moteurs Viking des premier et deuxième étages;
- l'augmentation de 25% de la masse d'ergols cryogéniques du 3ème étage qui passe de 8 à 10 tonnes;
- l'augmentation d'environ 4 s de l'impulsion spécifique du moteur HM7 du 3ème étage;
- l'augmentation du volume disponible sous coiffe par modification de la partie conique avant (bi-cône).

Le lanceur Ariane 2, disponible en même temps qu'Ariane 3, correspond à la même définition qu'Ariane 3 sans les propulseurs d'appoint; il sera capable de placer une charge utile de plus de 2000 kg en orbite de transfert.

A l'exception des tirs de qualification au sol du 3ème étage, prévus en début 1984, l'ensemble des études et essais nécessaires à la conception et à la qualification des configurations AR2 et AR3 sont terminés; une revue de qualification au sol est en cours avec l'objectif de prononcer la qualification de ces nouvelles versions en mai 1984, en temps utile pour le 1er lancement d'un lanceur AR3 maintenant prévu en juin 1984 (L10 lançant ECS 2 et Telecom-1A). Les modifications de l'ensemble de lancement et la réalisation d'une nouvelle station aval à Akakro (Côte d'Ivoire) destinée à recueillir les télémesures en provenance du lanceur pendant la dernière phase du vol seront également prêtes pour le premier vol.



La station aval de télémesure pour Ariane à Akakro, Côte d'Ivoire.



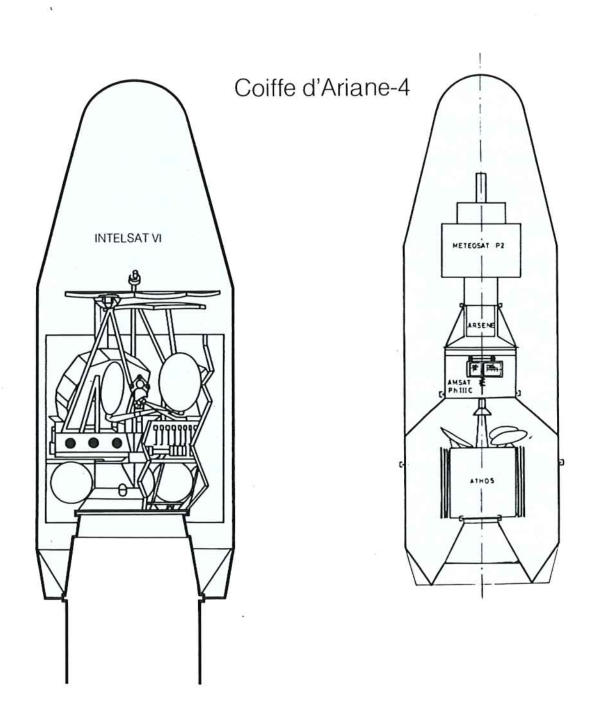
Ariane 4

L'évolution de l'utilisation de l'espace conduira à lancer des charges utiles encore plus importantes à partir de 1985. En outre il existe une très forte motivation d'ordre économique pour systématiser dès que possible les lancements doubles pour les satellites de masse allant de 1000 à 2500 kg. C'est pourquoi il a été étudié une version plus puissante d'Ariane (AR4) qui, avec ces différentes configurations possibles, disposera d'une grande souplesse et permettra d'ajuster la performance du lanceur à la charge utile en maintenant un taux de remplissage élevé.

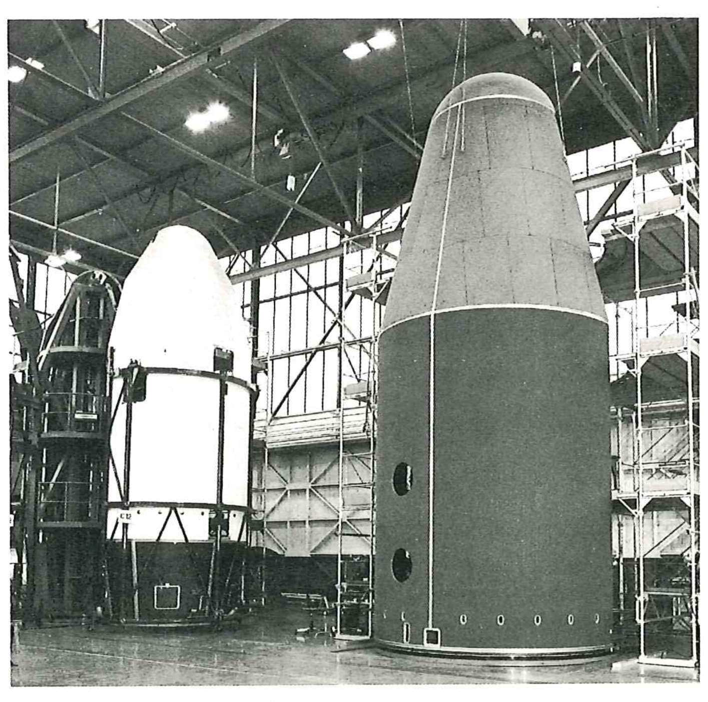
Ariane 4 utilisera les développements effectués pour les programmes précédents. Ce nouveau lanceur se caractérisera par l'existence de 6 versions différentes dont les performances en orbite de transfert couvrant la plage de 2000 à 4300 kg. Toutes ces versions auront en commun:

- un 1er étage allongé capable d'emporter 220 tonnes d'ergols, propulsé par 4 moteurs Viking fonctionnant à 58,6 bar de pression au foyer
- un 2ème étage et un 3ème étage identiques à ceux d'Ariane 3
- une nouvelle case à équipements sur laquelle pourra s'adapter une nouvelle coiffe
- une nouvelle coiffe de grand diamètre (4 m extérieur) disponible en trois versions: normale, allongée et lancement double.

Les différentes versions se distingueront par les propulseurs d'appoint qui seront soit deux ou quatre propulseurs à poudre dérivés de ceux d'Ariane 3 (9,6 t de poudre), soit 2 ou 4 propulseurs à liquide d'environ 38 t d'ergols utilisant le moteur Viking; une version hybride à 2 propulseurs à poudre et 2 propulseurs à liquide est également prévue ainsi qu'une version 'de base' sans propulseurs d'appoint.



Les coiffes d'Ariane: noter l'accroissement de volume d'Ariane 4 par rapport à Ariane 3.



Le développement d'Ariane 4 a été approuvé par l'ESA en janvier 1982. Le programme a démarré aussitôt et se concluera par un vol de démonstration prévu dans le courant du premier semestre 1986.

Ce vol de démonstration est organisé pour être le plus représentatif des capacités d'Ariane; la configuration retenue est celle de 2 propulseurs d'appoint à liquide et 2 propulseurs d'appoint à poudre permettant une capacité nominale d'emport de 3350 kg disponible pour les satellites. Il est prévu d'emporter 4 satellites dans une configuration de lancement multiple. Le passager bas est le satellite de télécommunication ATHOS. Le passager haut est un composite de trois satellites: Amsat (radio-amateur européen); ARSENE (radio-amateur français); Météosat P2 (météorologie).

Ariane 4 sera en mesure de lancer les satellites Intelsat VI dont les lancements sont prévus à partir de 1986.

Futurs lanceurs européens

Il apparaît que le lanceur de base Ariane-1 a été systématiquement perfectionné et que la croissance rapide des performances de la charge utile est impressionnante (de 1750 kg en orbite de transfert géostationnaire pour le modèle A1 à 4300 kg pour A44L). Mais avec Ariane 4, tous les perfectionnements rentables ont été épuisés, et aucune nouvelle croissance n'est possible. Il existe cependant des besoins en perspective pour des capacités de lancement hors de portée d'Ariane 4, tels que:

- installations de réception de charge utile dépassant celles d'Ariane 4;
- augmentation de fiabilité par conception;
- réduction du coût de lancement pour les satellites géostationnaires;
- lancement de charges utiles habitées;
- faible coût de lancement pour les orbites terrestres basses, si l'utilisation industrielle de l'espace devenait une réalité.

La satisfaction de besoins aussi hypothétiques appelle des solutions nouvelles qui sont des 'sauts quantiques' dans la technologie des lanceurs européens, et depuis 1980 l'ESA a commandité des études sur des lanceurs supérieurs à Ariane 4. De telles études font maintenant partie du Programme préparatoire à long terme (LTPP) des Systèmes de transport spatial (STS). L'ESA a décidé d'explorer surtout les possibilités de réduire les coûts de lancement à l'avenir, car de telles réductions, qui sont favorables à l'exécution de missions futures, s'avèrent séduisantes dès que la capacité de lancement européenne est pleinement disposible sur le marché et, ce qui est le plus important, peuvent rendre possibles de nouvelles missions qui ne sont pas encore envisageables, vu les coûts actuels de lancement. Un exemple probable serait celui d'activités industrielles (non encore identifiées) dans l'espace.

Deux approches principales et complémentaires pour l'étude de réductions des coûts de lancement sont possibles. L'une est suivie par le CNES et l'autre par l'Agence, avec pour objectif de parvenir à une synthèse d'ici à 1985. Ce sont:

LES FUTURS LANCEURS NON REUTILISABLES

Les coûts spécifiques de lancement pourraient être réduits par augmentation de la capacité de la charge utile. Par ce moyen, il devrait être possible de lancer des charges utiles multiples sur des orbites encombrées, et d'offrir la grande capacité de charge utile qui pourrait être requise pour les vols spatiaux habités. Des lanceurs non réutilisables ayant une plus grande capacité de charge utile sont actuellement étudiés surtout par le CNES, et plusieurs concepts baptisés 'Ariane-5' sont en cours d'exploration.

LES FUTURS LANCEURS REUTILISABLES

Une fois que le potentiel de réduction des coûts qui est inhérent aux gros lanceurs non réutilisables sera épuisé, le prochain espoir d'économies supplémentaires, du point de vue de l'Agence, se situera dans la récupération et la réutilisation d'éléments ou d'étages des lanceurs. L'ESA a par conséquent adjugé des contrats dans l'industrie pour rechercher les implications d'une réutilisation des lanceurs. Ces études ont été réparties en trois phases:

- phase 1 (1980–83): définitions techniques des concepts de lanceurs possibles après Ariane 4.
- phase 2 (1983–84): exécution d'études détaillées de faisabilité, et analyses économiques des concepts les plus prometteurs.
- phase 3 (1984–85): définition d'un plan de mise au point de lanceurs futurs, et élaboration de la proposition de programme correspondante.

A la fin de 1983, on a tiré les conclusions suivantes:

Propulsion et étagement: la propulsion cryogénique semble être rentable pour améliorer la capacité de charge utile des lanceurs futurs, tout en demeurant dans des masses acceptables au décollage. Elle permet également à des véhicules à deux étages d'atteindre une orbite terrestre basse, et à des véhicules à trois étages d'atteindre une orbite de transfert géostationnaire ou une orbite géostationnaire. Comme la réutilisation du troisième étage n'est pas réalisable, on peut se contenter de celle des deux étages inférieurs qui constituent un lanceur en orbite terrestre basse.

Méthodes de réutilisation: la récupération et la réutilisation de tout ou partie des lanceurs en orbite basse à deux étages sont éventuellement possibles de diverses façons. Les premières estimations permettent de supposer qu'un premier étage réutilisable portant un second étage non réutilisable (l'ensemble constituant un 'lanceur semi-réutilisable') peut être intéressant et même plus économique qu'un lanceur totalement réutilisable. Dans ce cas, la mise au point d'un lanceur totalement réutilisable ne deviendrait un objectif à très long terme que pour l'Europe. Pour des raisons opérationnelles, chaque étage réutilisé doit impérativement être récupéré au sol près de sa base de lancement. Par conséquent, tous les premiers étages réutilisables qui ont été étudiés jusqu'à maintenant sont munis d'ailes leur permettant de revenir sur le site de lancement en volant. Pour ces premiers étages réutilisables, plusieurs technologie de propulsion sont encore envisagées, à savoir la propulsion cryogénique, la technique d'Ariane avec des

moteurs Viking améliorés, ou bien un moteur stockable évolué utilisant de l'oxygène liquide et un carburant dense et propre.

Mise au point d'un grand moteur cryogénique: jusqu'à présent, la prise en considération de tout lanceur futur impliquait la nécessité d'une propulsion cryogénique à forte poussée. Pour cette raison, un grand moteur cryogénique, dans la classe de 100 tonnes de poussée, qui a été étudié par la France, l'Allemagne et la Suède depuis 1980, est d'ores et déjà proposé aux Etats membres de l'ESA en vue de son européanisation. Ce moteur serait utilisé pour explorer les technologies critiques des moteurs et pour préparer des installations d'essais nouvelles et plus importantes en attendant qu'une décision sur les lanceurs futurs puisse être prise à temps.

Il est prévu que d'ici à 1985 la première étape du scénario de mise au point des lanceurs futurs sera définie pour qu'un programme formel de mise au point du grand moteur cryogénique et des lanceurs futurs de la première génération puisse être proposé aux Etats membres, permettant ainsi la mise à disposition d'une capacité de lancement européenne améliorée d'ici au milieu des années 90.



L'entrée principale du Centre spatial guyanais.

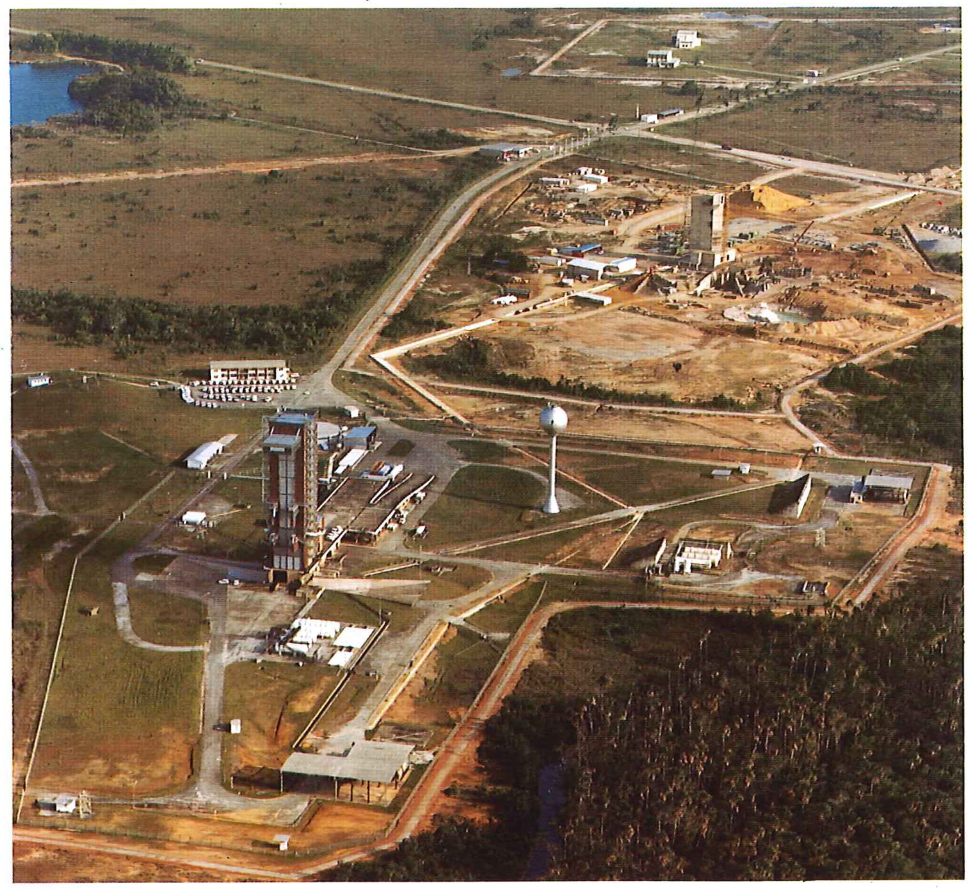
Le Centre spatial guyanais

Décidé en avril 1964 par le Gouvernement français, le Centre spatial guyanais (CSG) est devenu opérationnel en 1968.

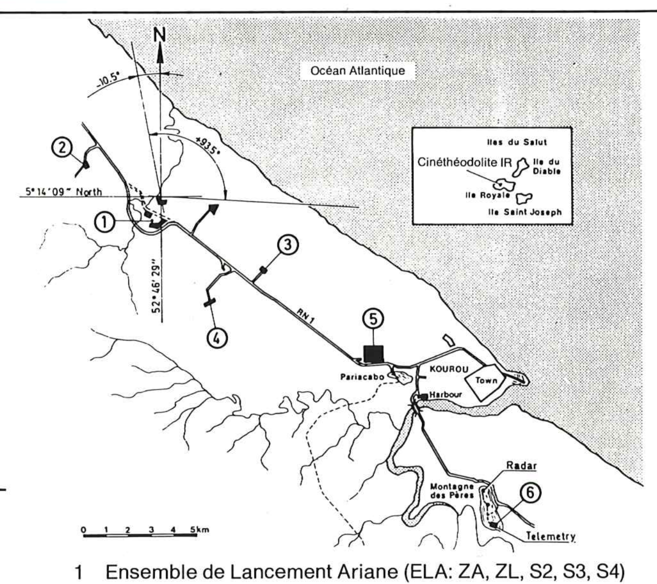
Après avoir assuré le soutien nécessaire dans les années 1968–74 aux lancements du programme national français (Diamant, fusées-sondes) et du programme européen (Europa 2), le CSG a été mis à la disposition de l'Agence spatiale européenne en 1979 pour le programme Ariane.

Au titre d'un Accord avec l'Agence, le Gouvernement français garantit à l'ESA et à ses Etats membres la liberté d'accès et d'utilisation des installations du CSG pour leurs programmes respectifs et accorde à l'ESA la priorité d'utilisation du CSG pour ses programmes; conclu pour une première période allant de 1975 à 1980, cet accord a été prolongé pour les années 1981–83. Un nouvel Accord pour les années 1984–86 est en cours d'élaboration.

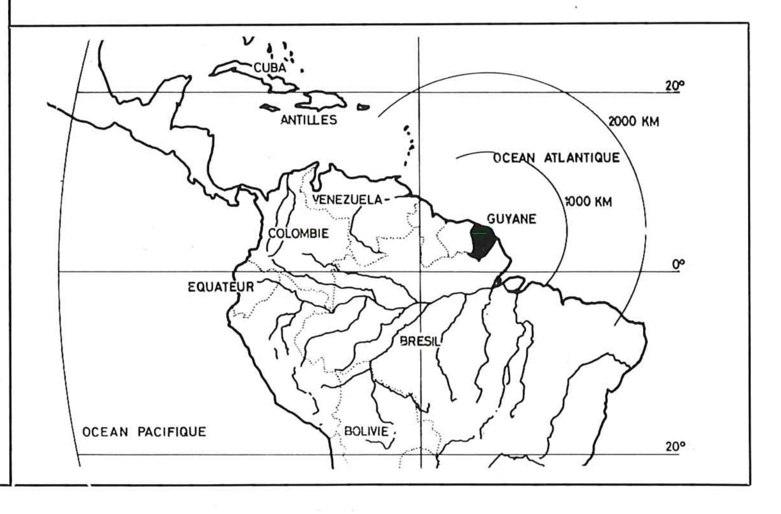
Le CSG fournit le soutien nécessaire pour la préparation et le lancement des véhicules spatiaux. Sa situation près de l'équateur (5,23° Nord) est extrêmement favorable pour le lancement des satellites géostationnaires; le profil de la côte de la Guyane permet des lancements tous azimuts (de −10,5° à +93,5°) par rapport au Nord.



Vue aérienne du CSG, avec le complexe d'ELA-1 au premier plan et ELA-2 en cours de construction à l'arrière-plan.



1 Ensemble de Lancement Ariane (ELA: ZA, ZL, S2, S3, S4)
2 Station KRU 92 (TTC)
3 Stockage (Equipements divers)
4 Stockage (moteurs à prop. solide, pyrotechnie, PR & PY)
5 Centre technique (S1, Centre de contrôle)
6 Station Réseau Satellite (KRU 98)



Situation géographique du CSG.

Les installations du CSG sont situées le long de la côte Atlantique sur environ 15 km entre Kourou et Sinnamary.

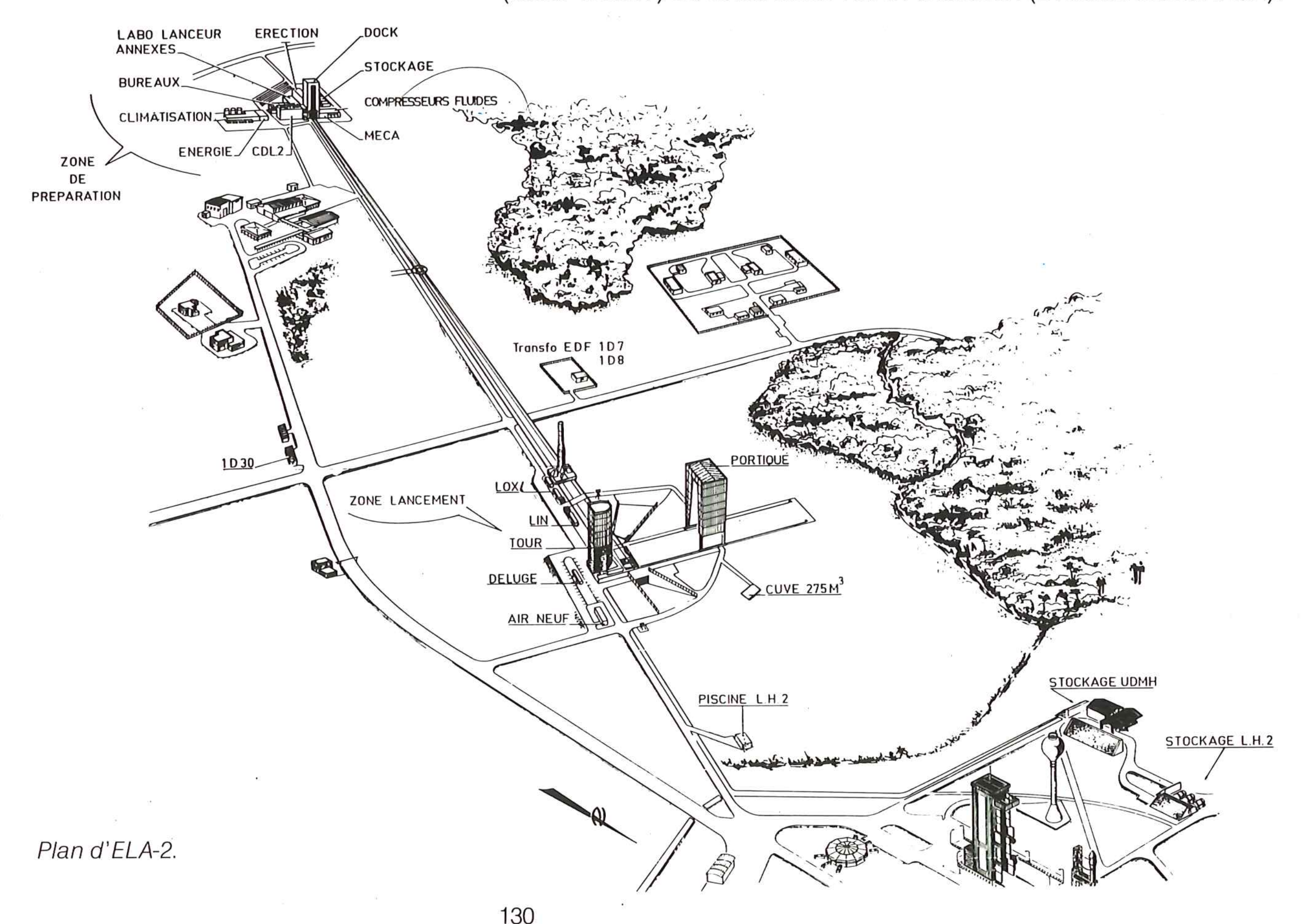
Au milieu de cette zone est situé le Centre technique du CSG, puis à environ 10 km au nord-ouest du Centre se trouvent les Ensembles de Lancement. Les moyens de mesure sont implantés sur des hauteurs (Montagne des Pères et Montabo) respectivement à 10 km et 50 km au sud-est du Centre technique.

Les tâches principales du CSG lors d'un lancement sont la localisation du lanceur, l'acquisition des données de télémesure et la sauvegarde des personnes et des installations.

Pour la localisation, le CSG fournit une trajectographie précise permettant de vérifier les performances des lanceurs; les principaux moyens mis en oeuvre à cet effet sont:

- un radar 'Adour', radar d'acquisition et de poursuite rapprochée d'une portée de 600 km, installé à 4 km des Ensembles de Lancement Ariane;
- deux radars 'Bretagne', radars de précision de poursuite lointaine d'une portée de 4000 km, implantés près de Kourou à 20 km des ELA, et près de Cayenne à 60 km des ELA;

Les moyens installés au CSG sont complétés par des moyens de poursuite (radars) situés en aval, à savoir deux stations implantées respectivement à Natal (radar 'Béarn') au Brésil et sur l'île d'Ascension (2 radars DOD/NASA).



Plan d'ELA-2.

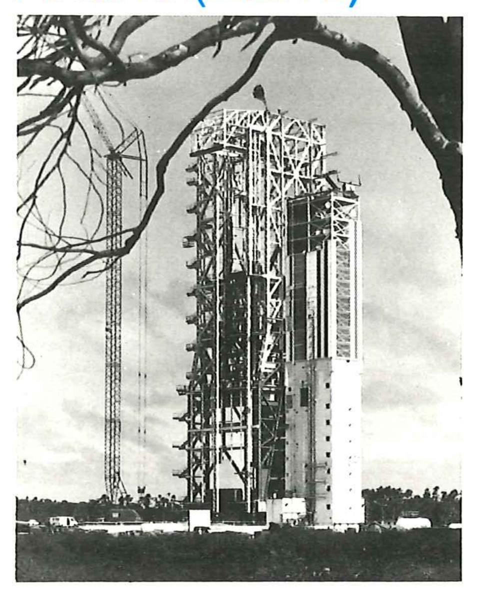
En matière de télémesure, le CSG assure l'acquisition et le traitement de toutes les mesures (permettant la connaissance du comportement du lanceur et de la charge utile), qui sont transmises par les émetteurs de télémesure embarqués sur les véhicules spatiaux.

Quatre stations de réception sont utilisées à cet effet.

- les deux stations de réception du CSG implantées respectivement à Kourou et à Cayenne, reçoivent avec leurs antennes de 45 dB et 35 dB les six télémesures du lanceur (mille paramètres de bord en bande E, 2200–2300 MHz);
- la station de Natal au Brésil, équipée également avec une antenne Stella (35 dB) reçoit les trois télémesures émises par les éléments supérieurs du lanceur;
- la station de réception NASA/DOD installée sur l'île d'Ascension capte les informations sur la dernière partie de la trajectoire du lanceur et l'injection de la charge utile en orbite.

Finalement, le CSG assure la sauvegarde des personnes et la protection des biens contre les risques éventuels associés aux opérations de lancement, ce qui demande la connaissance ininterrompue de l'état de l'ensemble des éléments du lanceur et sa trajectoire. Toutes ces informations sont présentées et exploitées par le responsable Sauvegarde qui dispose des moyens d'intervention nécessaires, y compris l'éventuel ordre de destruction du lanceur au moyen d'un émetteur de télécommande.

Deuxième ensemble de lancement Ariane (ELA 2)



La réalisation à Kourou d'un second Ensemble de Lancement (ELA 2) a été décidée en juillet 1981 en vue d'une disponibilité opérationnelle à la fin de 1984.

Les objectifs généraux du programme visent à

- assurer la redondance de l'Ensemble de Lancement actuel (ELA 1)
- accroître la souplesse opérationnelle et la compétitivité par réduction de l'intervalle minimum entre 2 lancements et par optimisation des coûts d'exploitation
- développer les moyens de préparation des charges utiles correspondantes.

L'ELA 2 est en cours de réalisation à proximité de l'Ensemble de Lancement actuel: il permettra les lancements des versions Ariane 1, 2, 3 et 4. Ce deuxième ensemble est constitué essentiellement de deux zones distinctes: la zone de préparation des lanceurs et la zone de lancement.

La **zone de préparation des lanceurs** est située à une distance de sécurité (950 mètres) de la zone de lancement; y seront effectuées les opérations suivantes:

- érection du lanceur jusqu'au niveau de la case d'équipements
- contrôle d'étanchéité des étages
- contrôle électrique
- contrôle du lanceur à distance durant la chronologie de lancement.

Le temps de présence du lanceur dans cette zone est d'environ un mois.

La terre vue de l'Orbiter, avec le module du Spacelab au premier plan.

Dans **la zone de lancement**, qui est également à distance de sécurité de l'actuelle zone de lancement de l'ELA 1, seront effectuées les opérations suivantes:

- phase finale de raccordement et de contrôle du lanceur
- mise en place, assemblage et contrôle de la charge utile et assemblage de la coiffe
- préparation au lancement
- chronologie et lancement.

Le temps de présence du lanceur dans cette zone est inférieur à un mois.

Les deux zones de l'ELA 2 sont reliées entre elles par un chemin de roulement sur lequel se déplacent les tables de lancement mobiles. Une plate-forme tournante permet le croisement des tables de lancement.

Fin 1983, tous les travaux d'infrastructure sont terminés et la plupart des équipements opérationnels installés sont en cours de recette. En 1984, auront lieu les essais de validation intégrés pour une durée de 10 mois environ. A l'issue de ces essais de validation, l'ELA 2 sera mis à la disposition d'Arianespace en vue d'un premier lancement dans les premiers mois de 1985.

Développement du Spacelab

ARRIERE-PLAN HISTORIQUE ET ACCORDS

L'ESRO fut invitée à l'automne de 1969 par l'Administrateur de la NASA, le Docteur Thomas O. Paine, à participer au programme post-Apollo. En 1970, la Conférence spatiale européenne autorisa des études de systèmes de transport orbital. Dans l'intervalle, il était devenu évident que Spacelab constituait la partie du programme post-Apollo qui convenait le mieux à une mise au point par l'Europe. Au cours de l'année 1972, l'ESRO effectua des études de faisabilité indépendante en faisant appel à trois consortiums européens concurrents. Lors de la réunion ministérielle de la Conférence spatiale européenne à Bruxelles le 20 décembre 1972, les Ministres européens responsables de l'espace confièrent à l'ESRO la tâche de mettre en oeuvre le programme Spacelab.

Le 24 septembre 1973, un Accord intergouvernemental (IGA) entre, d'une part, les neuf Etats membres participant alors au programme (Belgique, Danemark, France, Allemagne fédérale, Italie, Pays-Bas, Espagne, Suisse et Royaume-Uni; l'Autriche, Etat membre associé de l'ESA, se joignit aussi ultérieurement au programme) et, d'autre part, les Etats-Unis d'Amérique, entra en vigueur. C'était la première étape d'une coopération transatlantique dans les vols spatiaux habités. Le même jour, un 'protocole d'accord' fut signé entre le Docteur A. Hocker, Directeur général de l'ESRO, et le Docteur J. Fletcher, Administrateur de la NASA, décrivant les conditions de cette coopération. Aux termes du protocole, l'Europe devenait entièrement responsable du financement, de la conception et de la mise au point de Spacelab, ainsi que de la livraison gratuite à la NASA du 'modèle d'identification' et de la première unité de vol, plus le matériel de soutien au sol correspondant. La NASA devait fournir le système de transport (Navette spatiale) et être responsable du fonctionnement de Spacelab, en tant que partie de ce système. La NASA s'engagea également à acheter à l'Europe les Spacelabs

supplémentaires dont elle aurait éventuellement besoin pour le programme. L'accord stipulait également que le premier vol de la première unité (SL-1) devait être un vol conjoint avec des investigations scientifiques fournies aussi bien par la NASA que par l'ESA.

Dix Etats membres de l'ESA avaient regroupé leurs ressources techniques, financières et intellectuelles dans les intérêts du programme Spacelab. L'Allemagne fédérale a été le plus grand contributeur, fournissant plus de 50% du budget.

DEVELOPPEMENT DU SPACELAB

Le Protocole d'Accord assigne à l'ESA la conception et la mise au point, et à la NASA le rôle d'opérateur du Spacelab, chaque Agence finançant ses propres activités.

Les conditions initialement requises du système Spacelab et les ressources devant être fournies par la Navette à Spacelab ont été définies à partir des exigences du Groupe commun des Utilisateurs ESA-NASA (JURG).

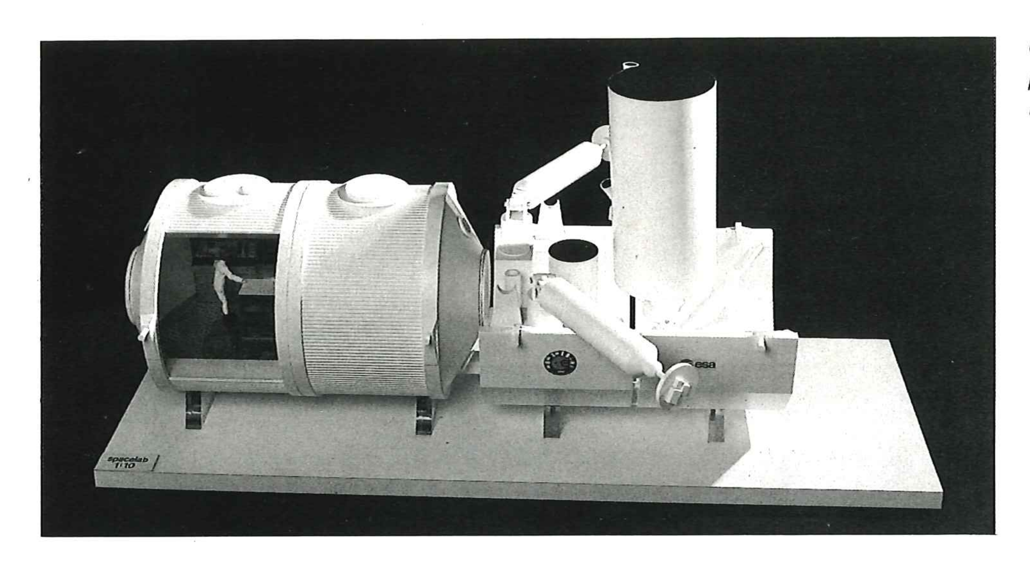
La coordination des programmes a été confiée au 'Groupe de travail commun Spacelab ESA-NASA' (JSLWG), qui a surveillé le déroulement des programmes respectifs de chaque Agence, réglé les problèmes d'interface importants entre le programme Spacelab et celui de la Navette, coordonné les modifications des exigences ou du contenu des programmes, et réglé les questions de coût. En tant qu'organisme coordinateur, le JSLWG n'a pas de responsabilité de gestion conjointe, chaque partie gérant son propre budget.

Lesdits Etats membres de l'ESA constituent les participants au programme, et sont représentés au sein du 'Conseil directeur du Programme Spacelab'. Ce Conseil, en tant que Groupe consultatif du Conseil de l'ESA, a surveillé le programme de développement et fourni les directives générales. L'équipe de projet de l'ESA, basée à l'ESTEC à Noordwijk, était composée à son apogée d'une centaine d'ingénieurs.

Le maître d'oeuvre, ERNO Raumfahrttechnik GmbH, basé à Brême, en Allemagne fédérale, soutenu par quelque 40 sociétés industrielles réparties dans l'ensemble des Etats membres de l'ESA, était responsable de la mise au point et de la fabrication du Spacelab au cours de la dernière décennie. Pendant la phase de développement, une force de travail industrielle d'environ 2000 personnes travaillait sur le programme. Leurs efforts ont porté leurs fruits avec le premier vol du Spacelab.

La répartition du travail entre les différentes nations était proportionnée d'aussi près que possible, tout au long du programme, à leurs contributions financières relatives, suivant le principe appliqué par l'ESA d'une répartition géographique équitable des contrats.

Le maître d'oeuvre répartit la mise au point du Spacelab en sous-systèmes fonctionnels sous la responsabilité d'un certain nombre de co-contractants. Chaque co-contractant était à son tour aidé par plusieurs sous-traitants, ce qui conduisait à un total de dix co-contractants et 36 sous-traitants dans 11 pays. Le maître d'oeuvre avait la responsabilité globale de la gestion et de l'intégration, veillant notamment à ce que tous les intéressés soient au courant des dernières



Un modèle de module long du Spacelab plus une double palette avec sa charge utile.

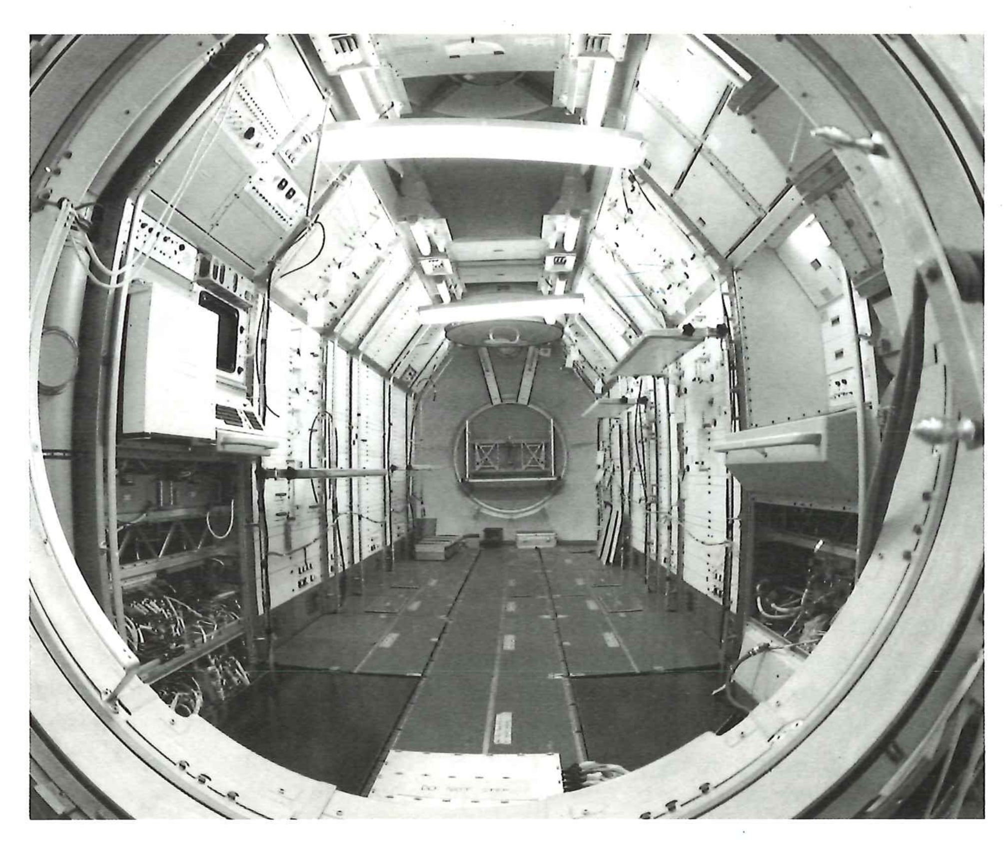
informations techniques, des exigences et des accords de conception, surveillant d'autre part l'avancement du travail, prodigant conseils et directives afin que les dates de revues critiques, d'essai et d'intégration soient respectées. ERNO a également supervisé les arrangements financiers mettant en jeu 11 différentes devises; enfin l'assemblage et l'intégration du Spacelab eurent lieu dans son établissement à Brême. Certaines sociétés américaines ont également été impliquées à titre de co-contractants ou de sous-traitants pour des éléments particuliers du Spacelab.

Il va sans dire que la coordination d'industries aussi nombreuses dans autant de pays a constitué une entreprise de grande envergure. Néanmoins, cet effort a été couronné d'un grand succès, on n'a pas rencontré d'obstacles majeurs, et un produit d'une qualité remarquable a été livré.

Au niveau de l'état-major, l'avancement des travaux a fait l'objet d'une revue à chacune des grandes étapes du projet:

- la 'Revue des Exigences' préliminaires, (PRR) établit en 1974 une base de départ conceptuelle pour les revues ultérieures, et donna une approbation préliminaire aux spécifications et aux plans du système à un niveau plus élevé;
- la 'Revue des Exigences du Système' (SRR) mit à jour en 1975 les exigences du système et servit de point de départ pour la phase finale de définition et de conception des sous-systèmes;
- la 'Revue de Conception Préliminaire' (PDR) constitua en 1976 une revue technique de l'approche fondamentale de conception, menant à l'autorisation de conception et de fabrication du 'Modèle d'Identification';
- la 'Revue critique de Conception' (CDR) établit formellement en 1978 la base de départ de production pour la première unité de vol;
- la 'Revue de Recette finale' (FAR), en 1981, qui permit à l'ESA d'accepter officiellement l'unité de vol du module Spacelab fournie par ERNO, et de la transmettre officiellement à la NASA;
- la 'Revue de Recette finale' (FAR), en 1982, qui permit de faire de même pour les unités de vol de l'igloo et des palettes.

Intérieur du module long entièrement intégré (modèle technologique).



La NASA fournit un soutien technique puissant et très précieux à ces différentes revues, en partie pour se familiariser avec le Spacelab dont il lui appartenait d'assurer en définitive le fonctionnement.

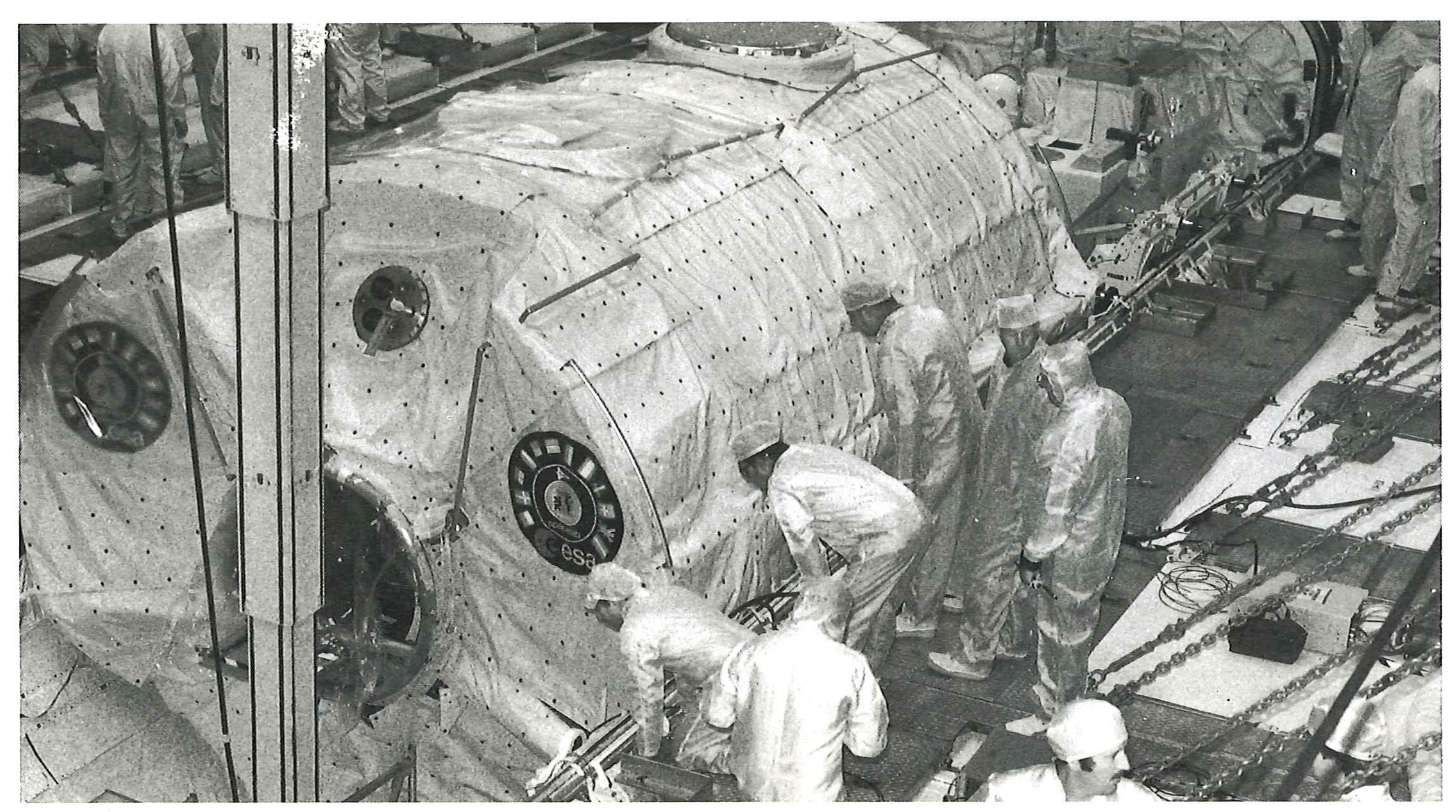
Pour permettre à la NASA de disposer d'un temps suffisant pour intégrer des expériences dans le Spacelab et pour intégrer ce dernier dans l'Orbiter, il avait été exigé que la première unité de vol lui fût livrée au moins un an avant le lancement.

La configuration I de l'unité de vol, qui correspond pratiquement à la configuration de la première unité de vol du Spacelab (SL-1) – à savoir un long module et une seule palette – fut formellement acceptée par la NASA en février 1982 lors d'une cérémonie d'inauguration au Centre spatial Kennedy, à laquelle assista M. Georges Bush, Vice-Président des Etats-Unis.

La configuration II, composée d'un igloo et de palettes, correspondant pratiquement à la configuration de la seconde unité de vol 'palette seulement' de Spacelab (SL-2), fut livrée au Centre spatial Kennedy au cours de l'été 1982.

La première mission Spacelab (SL-1)

Les objectifs du premier vol de Spacelab étaient de vérifier les performances du Laboratoire spatial et de démontrer son utilité comme outil d'expérimentation dans diverses disciplines scientifiques, d'applications et technologiques. Le premier objectif fut atteint par l'évaluation des données provenant d'un réseau de capteurs embarqués et d'un ensemble appelé 'instrumentation de vol de vérification'. Cette tâche fut assignée au Centre des Vols spatiaux Marshall de la



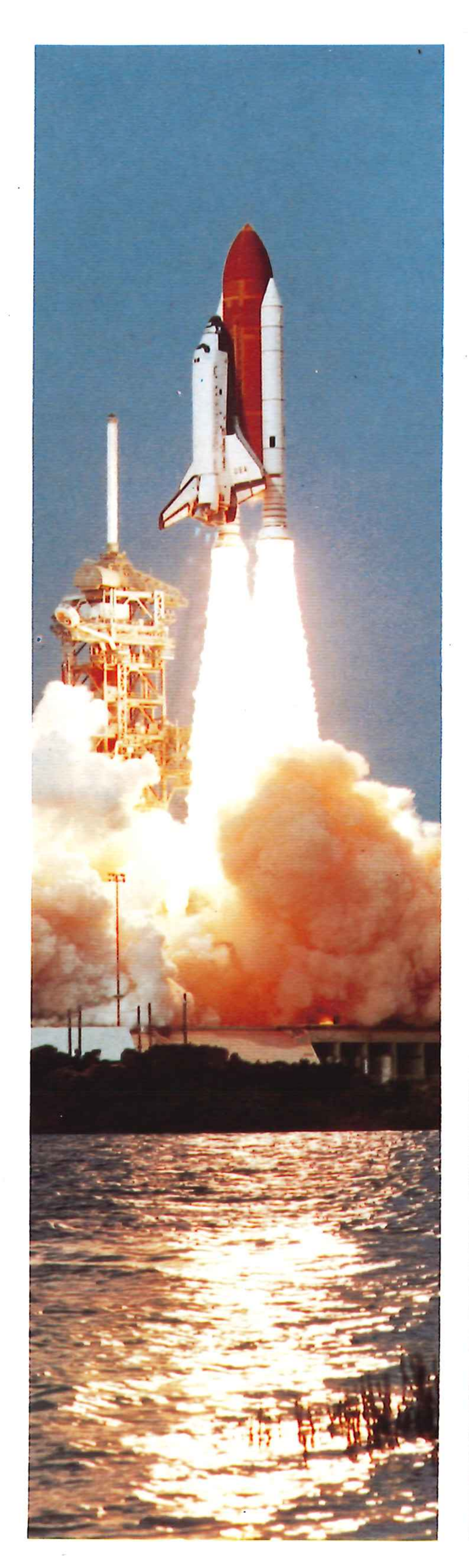
Intégration du module long + palette à l'Orbiter de la Navette avant lancement.

NASA (MSFC). Ce dernier objectif fut atteint par la mise en oeuvre d'une charge utile conjointe ESA-NASA dans laquelle 50% environ des ressources disponibles étaient allouées aux effectifs de chaque Agence. La partie ESA de la charge utile, appelée 'Première Charge Utile de Spacelab' (FSLP), sa mise au point et son vol final font l'objet principal de ce chapitre.

La configuration Spacelab choisie pour la première mission fut le module long plus une palette, et quelque 70 expériences furent effectuées, dont 57, pesant 1390 kg environ, étaient contenues dans la FSLP. Les principaux paramètres de vol de SL-1 étaient: inclinaison 57°, altitude 250 km, durée 10 jours, 7 h 47 mn 23 s. Le lancement eut lieu au Centre spatial Kennedy en Floride, et l'atterrissage eut lieu au Centre de recherche de vol de Dryden en Californie. En tout, 166 orbites de la Terre furent effectuées.

La mission SL-1 comportait non seulement davantage de matériel d'expérience que tous les autres vols antérieurs de l'ESA, mais aussi davantage d'expérimentateurs. Plus de 100 chercheurs représentant des disciplines très diverses étaient concernés: physique de l'atmosphère et observations de la Terre, physique du plasma dans l'espace, sciences des matériaux, sciences de la vie, astrophysique et physique du soleil, et technologie.

Les expériences prises en charge par l'ESA furent choisies par des groupes d'experts en février 1977 à partir des réponses à un 'Appel aux propositions' qui fut lancé en avril 1976. Ces expériences furent choisies en fonction de leurs qualités intrinsèques et de leur accord avec les objectifs scientifiques, les contraintes de la mission et les ressources disponibles dans le Spacelab.



Les expérimentateurs eux-mêmes étaient responsables de la planification et du financement de leurs expériences et de la mise au point du matériel. Cependant, un petit groupe de gestion de l'ESA, le SPICE (Intégration et Coordination en Europe de la Charge Utile de Spacelab) fut constitué au Centre DFVLR de Cologne-Porz en décembre 1976. La mission principale de cette équipe (20 personnes environ) était de superviser l'assemblage et l'expérience en une charge utile complète (FSLP).

Les tâches nécessaires comprenaient des activités aussi diverses que l'adaptation analytique, la publication de spécifications et l'assurance qu'elles étaient respectées, l'approvisionnement en matériel de soutien, la mise au point d'un logiciel de contrôle au sol et de vol, la supervision de l'entraînement de l'équipage en Europe, la fourniture d'une assistance technique aux expérimentateurs, et l'intégration physique des expériences en une charge utile. Cette dernière tâche fut exécutée par ERNO, sous la surveillance du SPICE, au cours de la période allant de janvier 1981 à mai 1982.

La FSLP fut transportée par avion au Centre spatial Kennedy en mai 1982. Pendant la période précédant le lancement, les parties NASA et ESA de la charge utile furent mises ensemble, contrôlées, assemblées avec les éléments de vol de Spacelab, et le tout fut intégré dans la Navette Columbia. Ces activités furent exercées par une équipe conjointe ESA-NASA. Des équipes d'expérimentateurs furent entraînées à la collecte de données au sol et à l'envoi d'instructions aux

Centre spatial Kennedy, 28 Nov. 1983 — 1600 TU: lancement de la Navette spatiale avec Spacelab-1 à bord.

Au Centre de Commande des Opérations de Charges utiles au Centre spatial Johnson (Houston), pendant le vol de Spacelab. On distingue, au centre, le Dr W. Ockels (NL), spécialiste-charge utile européen.



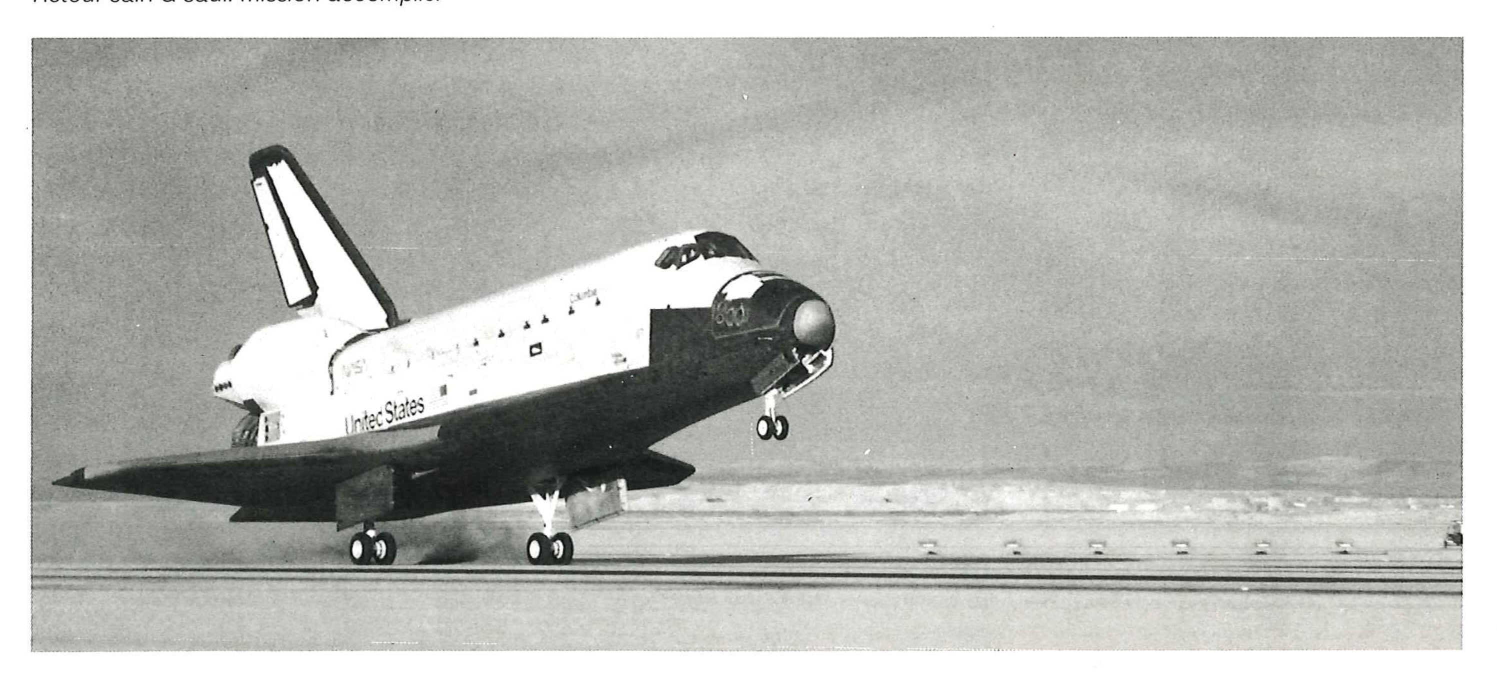


Le spécialiste-charge utile européen, Dr U. Merbold (D), surveillant une expérience pendant le vol.



L'équipage faisant l'expérience de la 'non-pesanteur' à bord de Spacelab.

Retour sain & sauf: mission accomplie.



expériences en orbite, soit directement soit par l'intermédiaire des spécialistes de la charge utile qui se trouveraient à bord.

Le spécialiste européen de la charge utile pour le vol, le Docteur Ulf Merbold, et son remplaçant le Docteur Wubbo Ockels, avaient été choisis à partir d'un groupe initial de 2000 candidats en décembre 1977. Leur désignation pour le vol SL-1 fut faite en septembre 1982. En parallèle avec la préparation du matériel, les spécialistes de la charge utile et les spécialistes de la mission qui les aidaient furent entraînés d'une manière complète à la mise en oeuvre des expériences.

Cet entraînement combit des visites aux laboratoires des expérimentateurs concernés par SL-1, des sessions dans les simulateurs de Spacelab au MSFC (Huntsville, Alabama), au Centre spatial Johnson (Houston, Texas) et à Cologne-Porz. Vers la fin de l'entraînement, des simulations de larges tranches du programme de vol furent effectuées. Avec la réalisation de SL-1, le Dr Merbold devint le premier membre du personnel de l'ESA à voler dans l'espace, et le premier non-Américain à voler dans la Navette spatiale.

Les préparatifs de lancement furent marqués par un certain nombre d'incidents mineurs. Deux satellites de poursuite et de relais de données (TDRS) avaient été prévus, mais un seul était disponible, si bien que la communication en temps réel entre Spacelab et le sol fut quelque peu restreinte. Le difficile contrôle du satellite TDRS et la détérioration anormale de l'un des revêtements intérieurs du propergol solide observée dans le vol précédent provoquèrent un report du lancement au 28 novembre 1983. Même ainsi, cette date de lancement n'était pas favorable pour tous les expérimentateurs. On s'attendait à ce que quatre des expériences souffrent d'un rendement scientifique réduit en raison des conditions d'éclairement qui régnaient, et des vols ultérieurs leur furent garantis.

Le lancement eut finalement lieu à 16 heures GMT le 28 novembre et le vol fut un énorme succès. Toutes les expériences européennes fonctionnèrent, la plupart donnant totale satisfaction. Les seules exceptions furent l'instrument de télédétection à hyperfréquences, qui ne restitua qu'environ 8% des données attendues (le mode actif ne fonctionna pas), et les fours isothermes et à miroirs qui ne fonctionnèrent que pendant 60 à 70% de la durée prévue. Particulièrement frappante fut la façon dont l'équipage coopéra avec les chercheurs au sol dans la réalisation des expériences, ainsi que l'aptitude de l'équipage à effectuer les réparations sur place, à s'adapter, et à improviser pour surmonter les difficultés qui se présentèrent. On ne s'attendait pas à ce qu'une évaluation complète des résultats de SL-1 soit disponible moins de six mois après le vol.

Utilisation future du Spacelab

Le caractère réutilisable et modulaire du Spacelab signifie qu'il peut trouver des applications dans de nombreux domaines et dans des conditions très diverses. Le fait qu'il soit occupé par des hommes et qu'il se trouve dans une ambiance de microgravité de longue durée le rendent particulièrement séduisant pour des expériences de science des matériaux et de sciences de la vie, outre les disciplines bien connues des sciences de l'espace. La véritable valeur de Spacelab ne pourra être établie définitivement qu'à mesure que le programme Navette-Spacelab évoluera. La politique actuelle de l'ESA est d'encourager son utilisation dans des

domaines prometteurs, avec la possibilité séparée d'une participation industrielle éventuelle et profitable.

Outre sa participation à SL-1, la NASA a programmé cinq missions spécialisées jusqu'à 1987, ainsi que l'inclusion de lots d'expériences supportés par palettes sur de nombreux vols de charge utile 'mixtes'. La prochaine participation directe de l'Europe au programme de vol de Spacelab sera la mission D-1 programmée pour la mi-1985. Bien que cette dernière soit une mission nationale allemande, le Traîneau spatial de l'ESA, le Biorack et le Module avancé de physique des fluides voleront également et un certain nombre d'expériences non allemandes ont été incluses dans les charges utiles faisant appel à ces installations. L'affectation par la direction de D-1 d'au moins un spécialiste ESA à l'équipage montre combien l'Agence s'intéresse à cette mission. L'ESA n'a pas encore de plans fermes pour d'autres utilisations du Spacelab, bien que, ainsi qu'on l'a mentionné ci-dessus, la NASA utilisera des éléments du Spacelab sur de nombreux vols.

Le Laboratoire international de Microgravité (IML) est une autre installation porte-instruments qui offre une occasion séduisante à l'ESA de faire appel à Spacelab. Ce concept implique le transport par Spacelab d'installations fournies par divers pays et organisations (par ex. l'ESA, la NASA, le Japon, etc.). L'utilisation de ces installations par des expérimentateurs provenant des pays participants serait décidée plus ou moins au pro rata. La NASA serait prête à assurer un lancement gratuit si des expérimentateurs américains étaient autorisés à utiliser 50% de ces installations qui ont été conçues et mises au point en dehors des Etats-Unis. Bien que l'ESA appuie ce concept dans son principe, les détails de l'exécution d'un tel programme doivent encore être élaborés. La première occasion d'un lancement IML se situe en août 1987. Au moins trois missions sont prévues pour ce programme.

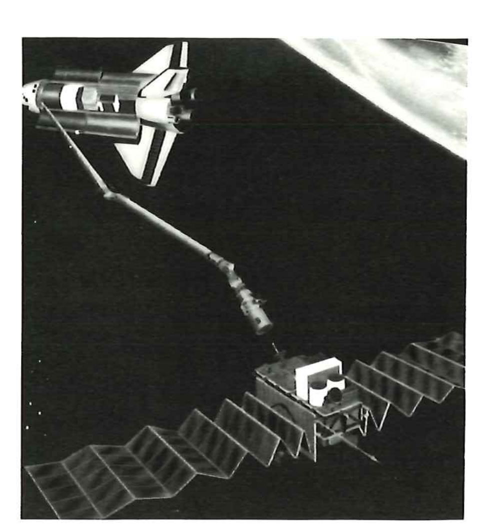
Il y a pour l'ESA de nombreuses occasions d'utiliser les éléments du Spacelab, notamment la palette, dans le modèle de mission actuel de la Navette. Une forte incitation aux occasions d'utiliser le module Spacelab est le Programme de Microgravité qui prévoit le renvoi dans l'espace d'installations existantes telles que le Traîneau, le double porte-instruments de sciences des matériaux et le Biorack, ainsi que de nouvelles installations telles qu'Anthrorack.

Ainsi avec Spacelab les scientifiques disposent-ils d'un nouvel instrument de recherche. C'est maintenant aux expérimentateurs des diverses disciplines de l'utiliser comme ils le jugent bon. Regardant encore plus loin dans l'avenir, si les Etats-Unis devaient se lancer dans un programme de station spatiale, l'ESA espère que les éléments de Spacelab, ainsi que l'expérience et le savoir-faire acquis par l'Europe au cours de la dernière décennie, seront utilisés.

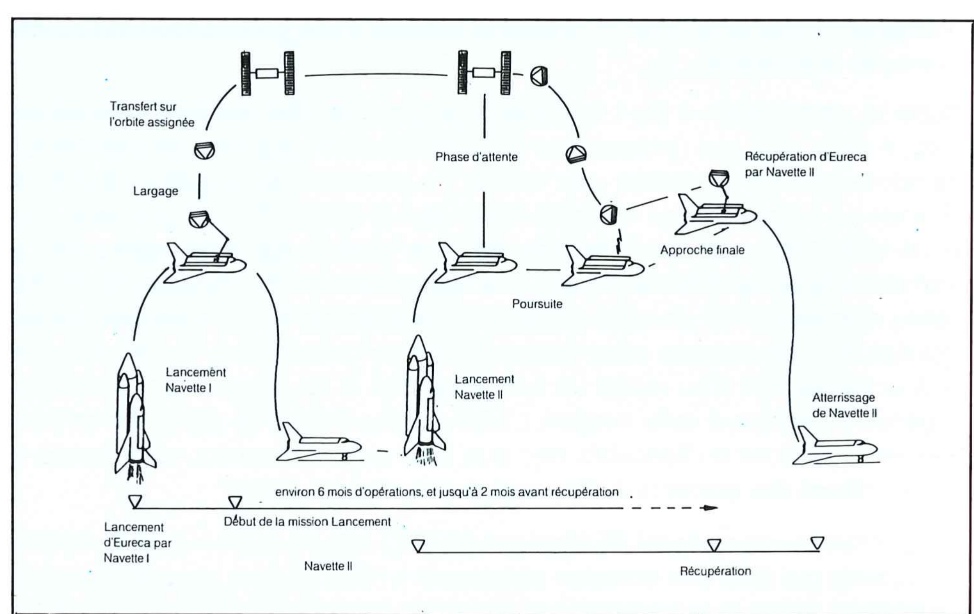
Eureca

L'avènement de la Navette et de Spacelab représente un jalon dans la coopération Etats-Unis – Europe. C'est le premier système de transport spatial réutilisable du monde qui puisse être équipé d'un grand laboratoire dans lequel on peut travailler 'en bras de chemise'.

Avec le couple Navette/Spacelab, nous disposons d'une gamme plus large



Récupération d'Eureca par l'Orbiter de la Navette.



Séquence de vol d'une mission Eureca.

d'applications utilisant des véhicules spatiaux habités, y compris les sciences de la vie et des matériaux, qui jusqu'à maintenant n'ont pas été explorées.

Comme le programme de mise au point de Spacelab est pratiquement achevé et que le premier vol Spacelab a été couronné de succès, huit Etats membres européens ont décidé de poursuivre les activités de mise au point relatives au Système de Transport spatial (STS), dans le cadre d'un programme dit 'post-Spacelab'.

Le premier élément majeur de ce nouveau programme, qui a été approuvé le 15 avril 1982, sera la poursuite de la conception et de la mise au point d'une 'plate-forme européenne récupérable' (Eureca).

Le concept d'Eureca est de transporter des expériences dans l'espace, de permettre leur exécution en orbite et de ramener l'ensemble du satellite avec sa charge utile sur Terre une fois la mission accomplie. Ce concept se fonde sur les services de lancement et de récupération de la Navette spatiale américaine.

D'un point de vue scientifique, Eureca fournit un niveau de puissance (de l'ordre de quelques kilowatts) et une ambiance de micropesanteur (10^{-5} *g*) qui ne peuvent être obtenus sur des missions de Spacelab. Ces niveaux de puissance plus élevés et cette ambiance d'accélération moindre sont des conditions pour de nouveaux progrès des sciences des matériaux dans l'espace. La durée de vol d'Eureca et le temps disponible pour effectuer les expériences en orbite dépassent de loin ceux qui peuvent être obtenus sur les vols Spacelab.

La mise au point de la plate-forme se fonde en grande partie sur l'expérience européenne acquise dans la mise au point de Spacelab, et fera appel à un certain nombre d'éléments de matériel existants. Au départ, cinq vols sont programmés dans les dix ans.

Après lancement par la Navette spatiale, Eureca sera propulsée, par un moteur

auxiliaire incorporé, sur une orbite de 500 km environ, de laquelle la plate-forme descendra lentement pendant sa mission, qui durera plusieurs mois. A la fin de la mission, Eureca sera récupérée par la cabine spatiale en orbite et ramenée sur Terre.

Le satellite est de la classe 4 tonnes permettant la réception de charges utiles jusqu'à 1,2 tonne environ et fournissant sans interruption à la charge utile une puissance électrique de 1,5 à 1,7 kW. Ces niveaux de puissance élevés nécessitent un système actif de régulation thermique, qui est basé sur un système à boucle de fréon dérivé de Spacelab.

Eureca, qui fait appel à la technologie actuelle, représente un pas en avant significatif et innovateur dans l'industrialisation de l'espace et ouvre l'espace à une catégorie d'utilisateurs entièrement nouvelle.

La première mission d'Eureca, qui est programmée pour octobre 1987, sera consacrée essentiellement à des éléments de charge utile en microgravité, bien que des éléments complémentaires concernant d'autres disciplines soient également inclus. La mission durera six mois environ. Quand elle aura été ramenée, Eureca sera remise en état pour une nouvelle mission.

L'étude actuelle d'une version améliorée possible d'Eureca permettant de recevoir une charge utile sans microgravité (dans les domaines des observations de la Terre, de la science et de la technologie) doit être achevée à l'échéance de mi-1984. Cette version ne constitue pas un nouveau développement; elle ne fait que rentabiliser les investissements déjà faits en Europe pour mettre au point la première version. De nouvelles catégories de plates-formes, au-delà de la première génération d'Eureca, sont d'ores et déjà envisagées.

Eureca pourrait représenter une étape intermédiaire vers des plates-formes permanentes en orbite et, peut-être plus tard, constituera un complément pour une station spatiale habitée et pour des plates-formes non habitées, du fait de l'économie technique et des avantages opérationnels qui lui sont propres.

Recherche en microgravité

La recherche en microgravité, en tant que discipline spatiale la plus récente en Europe, prouve d'une manière concluante que, avec des véhicules appropriés, la science suivra en faisant usage de la technologie disponible, et finalement en justifiant une mise au point plus développée de celle-ci.

La décision prise au début des années 70 de construire Spacelab marqua la première prise de conscience des spécialistes des sciences de la vie et des matériaux devant la capacité de l'Europe de procurer des ambiances de microgravité au-delà des quelques secondes qui sont possibles avec l'expérience des tours de largage et des vols d'aéronefs.

UTILISATION DE FUSEES-SONDES

Au cours de la longue évolution vers le premier vol Spacelab, les fusées-sondes ont représenté un moyen très satisfaisant de réaliser des expériences de microgravité, aussi bien pour leur valeur intrinsèque qu'en tant que terrain



Un lancement de fusée-sonde.

d'épreuve en préparation aux vols de Spacelab. Quelque six minutes de conditions de faible pesanteur (10^{-4} *g*) sont ainsi éprouvées.

Jusqu'à présent, neuf charges utiles (poids moyen: 240 kg) ont été lancées dans le cadre du programme allemand TEXUS depuis décembre 1977. La Suède, dans le cadre de son programme national, a fait voler six fois un module de four à bord de missions TEXUS, et a lancé un module multifonctions séparé (projet PIRAT en septembre 1981).

L'ESA a participé au programme TEXUS à partir de TEXUS V (avril 1982) au titre de la phase 1 de son Programme de Microgravité, et le nombre croissant de propositions d'expériences sur fusées-sondes en réponse aux 'appels à expériences' de l'ESA démontre le succès de cette activité. On a surtout insisté sur les expériences concernant la solidification, les matériaux composites et la mécanique des fluides. En outre, des expériences concernant les phénomènes d'interface, l'électrolyse et la diffusion ont été menées avec succès. Le nombre total d'expériences exécutées jusqu'à présent sur fusées-sondes allemandes, suédoises et de l'ESA est d'une centaine.

PROGRAMME DE MICROGRAVITE – PHASE 1

Bien que des éléments isolés aient fait l'objet d'une mise au point dans le cadre de différents programmes, ce ne fut qu'en 1982 que les activités de microgravité furent rassemblées en un programme formel. Les éléments principaux comprennent, outre les fusées-sondes:

Biorack

Le Biorack est une installation à usage multiple permettant d'effectuer des expériences de biologie et de développement, cellulaire, de botanique et de radiobiologie dans l'ambiance à faible pesanteur du Spacelab. Il se compose principalement d'une 'boîte à gants' permettant la manipulation et l'observation des expériences, et de plusieurs unités de conditionnement thermique, toutes logées dans un unique casier à matériel standard du Spacelab. Les incubateurs comportent également des centrifugeuses permettant de simuler la pesanteur normale (1 *g*) à des fins de référence. Le Biorack devrait fournir des moyens pour la préservation de spécimens biologiques sur le pont intermédiaire de l'Orbiter de la 'Navette' pendant les phases de lancement et d'atterrissage. Ces moyens prévus sur le pont intermédiaire devraient permettre d'embarquer peu avant le lancement des spécimens qui ont une durée de vie limitée et de les récupérer peu après l'atterrissage (l'accès au Spacelab étant strictement limité).

Quatorze des 53 propositions d'expériences qui ont été reçues par l'Agence en réponse à l'Appel aux Expériences pour Biorack seront embarquées sur la mission allemande D-1.

L'objectif scientifique est d'étudier l'effet de la pesanteur terrestre qu'on soupçonne être étroitement imbriquée aussi bien dans la structure que dans les fonctions au niveau cellulaire. La microgravité imposée aura donc probablement une influence non seulement sur les mécanismes biologiques en régime permanent mais aussi et surtout sur ces systèmes biologiques au cours du processus d'acquisition de nouvelles formes programmées de fonctions, c'est-à-dire différenciation des cellules et développement des organismes.

Module amélioré de physique des fluides

Le Module de Physique des Fluides est un appareil scientifique permettant de créer une zone de flottement entre deux disques coaxiaux parallèles, dans une ambiance de microgravité, permettant d'appliquer certaines perturbations aux liquides dont le comportement est alors observé et enregistré sur un film. Les stimuli doivent être mécaniques (rotation, vibration ou distorsion latérale), thermiques (chauffage) ou électriques (différence de potentiel de part et d'autre de la colonne). En utilisant des adaptateurs et des récipients appropriés, il est possible d'effectuer des expériences particulières sur le mouvement des fluides et la dynamique des fluides. Une version améliorée est en cours de mise au point au titre de la première phase du Programme de Microgravité de l'ESA.

A l'heure actuelle, on s'attend à ce que les résultats du premier vol Spacelab donnent un aperçu de phénomènes fondamentaux concernant des domaines très divers, depuis la cristallisation jusqu'aux sciences de la vie. D'autres expériences de physique des fluides seront embarquées sur la mission D-1.

Les contraintes concernant les expérimentations sur fusées-sondes sont associées à la nécessité de contrôler les accélérations et les vibrations induites pendant le lancement et la rotation initiale de la charge utile sur elle-même. La période limitée de micropesanteur de 5 à 10 minutes exclut également certaines catégories d'expériences qui exigent des régimes permanents thermiques et chimiques plus longs.

L'expérience acquise à ce jour sur fusées-sondes et les possibilités offertes par ces dernières en font un outil précieux à risque 'calculable', capables de jouer un rôle similaire, dans l'avancement de la recherche en science des matériaux en microgravité, à celui qu'elles ont joué dans la mise au point des sciences spatiales classiques.

LA PREMIERE MISSION SPACELAB

Expériences européennes de science des matériaux

La première mission Spacelab avait à son bord une importante charge utile de science des matériaux: quelque 35 expériences pilotes dans les domaines de la croissance des cristaux, de la physique des fluides et de la métallurgie, provenant de 28 instituts de recherche différents dans huit pays européens. Ces expériences furent sélectionnées par les Etats membres de l'ESA en 1976 à partir de quelque 100 propositions.

La plus grande partie des expériences firent usage des 'installations à usage multiple' (fours par ex.); d'autres nécessitèrent un matériel spécial (autonome). L'ensemble du matériel, à l'exception de deux éléments autonomes, fut intégré dans un double porte-instruments de Spacelab, appelé 'double porte-instruments de science des matériaux' (MSDR).

Le MSDR comprenait quatre importantes installations: une installation de chauffage isotherme (IHF) mise au point en Allemagne, avec 14 expériences métallurgiques; une installation de chauffage à gradient (GHF) mise au point en France, avec cinq expériences de croissance des cristaux et métallurgiques; une installation de chauffage par miroir (MHF) mise au point en Allemagne, avec



La double palette de science des matériaux.

quatre expériences de croissance des cristaux; un module de physique des fluides (FPM) mis au point en Italie, avec sept expériences de physique des fluides.

Le MSDR comprenait en outre un cryostat avec une expérience de croissance des cristaux de protéine; un thermostat à haute température (HTT) avec une expérience de diffusion dans un métal en fusion; et une chambre à vide poussé (UHF) pour une expérience concernant les forces d'adhérence des métaux.

Expériences européennes de sciences de la vie

Les recherches en sciences de la vie sur Spacelab 1 portaient sur les effets de l'ambiance spatiale (microgravité et rayonnement dur) sur la physiologie humaine et sur la croissance, le développement et l'organisation de systèmes biologiques.

Dans cette ambiance à faible pesanteur, une catégorie spéciale d'expériences étudiait l'interaction entre le système vestibulaire de l'homme et le cerveau, pour aider à comprendre les causes du mal de l'espace (syndrome d'adaptation à l'espace), et pour fournir des informations qui peuvent être utilisées dans des aspects plus généraux de la recherche vestibulaire sur Terre.

Un autre ensemble d'expériences de physiologie humaine portait sur le système cardiovasculaire dépendant de la pesanteur, et, en exposant l'homme à une ambiance de microgravité, certains processus et mécanismes, jusqu'alors inconnus, concernant la répartition des fluides du corps et la composition du système sanguin, furent explorés.

Un autre ensemble d'expériences évalua les effets du rayonnement et de l'apesanteur sur d'autres organismes. En particulier, les scientifiques sont intéressés par les perturbations possibles de la croissance, du développement et de l'organisation des cellules. De nouvelles techniques 'cartographiques' furent utilisées pour mesurer le niveau du rayonnement spatial qui pénètre les parois du module du Spacelab.

Des bactéries et d'autres microbes emportés sur Spacelab-1 furent examinés après le vol pour déterminer les risques biologiques d'une exposition au rayonnement ultraviolet et cosmique ambiant. Des observations effectuées sur de jeunes plants de tournesol et sur des champignons élevés dans Spacelab-1 fournirent de nouvelles informations sur les chémas de croissance des végétaux qui sont normalement influencés par la pesanteur et les rythmes circadiens de 24 heures.

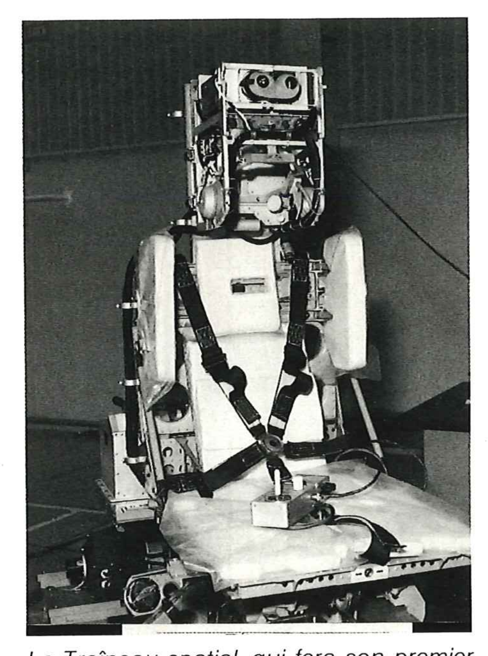
LE TRAINEAU SPATIAL

Le 'Traîneau spatial', sur lequel on commença à travailler à la fin des années 70, est une installation d'expérience pour les recherches en sciences de la vie à bord de Spacelab afin de déterminer les mécanismes humains de réponse à des accélérations linéaires contrôlées dans une ambiance d'apesanteur. Un des principaux objectifs est d'évaluer les mécanismes physiologiques de réponse dans le système neurosensoriel central et périphérique qui se sont développés dans l'ambiance à pesanteur constante de la Terre.

Le Traîneau est soumis à une accélération sur des rails qui sont boulonnés sur le plancher du Spacelab. Le sujet d'essai, un membre de l'équipage, est attaché à

un siège qui peut être fixé au chariot dans l'une quelconque des trois directions mutuellement orthogonales. L'opérateur d'essai, un autre membre de l'équipage, assiste le sujet d'essai, fait fonctionner le chariot et son matériel d'expérience et communique avec des chercheurs scientifiques sur la Terre. Près de 200 profils de mouvement pré-programmés différents peuvent être sélectionnés sur une gamme de 0,01 à 1,96 m/s^2 d'accélération de crête et de 0,02 à 1,5 m d'amplitude.

Le Traîneau était à l'origine programmé pour la première mission Spacelab. Cependant, afin de ramener la masse totale de la première charge utile dans des limites convenues antérieurement, le Conseil directeur du programme Spacelab décida en mars 1980 de reportier le Traîneau à une mission ultérieure. Le Conseil de l'ESA décida lors de sa réunion de décembre 1980 que le Traîneau serait embarqué sur la mission allemande D-1. Quelques expériences furent néanmoins effectuées sur le premier vol Spacelab dans des conditions statiques et avec l'opérateur d'essai déplaçant le sujet d'essai sur une structure de support légère.



Le Traîneau spatial, qui fera son premier vol à bord de Spacelab lors de la mission allemande D1.

LA CHARGE UTILE DE MICROGRAVITE DE LA PREMIERE MISSION EURECA

La plate-forme européenne récupérable, Eureca, procure des occasions de vol d'une durée de 6 mois environ et des niveaux de microgravité de l'ordre de 10^{-5} *g*.

Le matériel expérimental proposé pour la première mission Eureca se compose principalement d'un 'Noyau de charge utile' devant être fourni par l'ESA. Cinq installations à usages multiples permettront le traitement d'échantillons métallurgiques, la croissance de cristaux à partir du bain fondu et de solutions à haute et à basse température, ainsi que des recherches biologiques et biochimiques (croissance de végétaux, cristallisation de protéines, etc.). De plus, il y aura deux catégories de matériel complémentaire fourni par des expérimentateurs, l'une dans le domaine de la science des matériaux et des sciences de la vie pour exploiter l'ambiance de microgravité procurée par la plate-forme, et l'autre dans des disciplines non liées à la microgravité, essentiellement des disciplines apparentées à la science et à la technologie spatiales.

Il est prévu que le noyau de charge utile constituera 70 à 80% du total de la charge utile de 1000 à 1200 kg pour la première mission. Les instruments de sciences des matériaux et de sciences de la vie fournis par les expérimentateurs seront limités à 200 kg environ. Les disciplines non apparentées à la microgravité prendront moins de 100 kg de la capacité disponibles.

Four à miroir mono-ellipsoïdal automatique (AMMFF)

L'AMMFF est un four à rayonnement optique qui est conçu pour permettre le stockage de 25 échantillons, convenant particulièrement bien à des expériences de croissance des cristaux. Son concept a été dérivé d'installations semblables mises au point pour la FSLP et les charges utiles de la mission D1 de Spacelab, et à partir d'études préalables à la Phase A.

Ensemble multi-four (MFA)

Le MFA est destiné à fournir une charge utile modulaire consacrée à des expériences de science des matériaux par regroupement de 15 fours à interfaces de sous-systèmes communes. Ces fours seront fournis par les utilisateurs à partir

de recommandations formulées par l'ESA. Il sera possible de réutiliser des fours déjà mis au point à d'autres fins, par exemple pour des vols de fusées-sondes.

Installation de botanique (BF)
L'installation de botanique est proposée en tant qu'installation de sciences de la vie à usages multiples, destinée à permettre des recherches sur le comportement des champignons et des végétaux supérieurs en apesanteur. Elle se composera d'un module d'expérience, qui est en fait une chambre unique à température contrôlée destinée à contenir tout le matériel et tous les échantillons d'expérience, et d'un module de service, assurant l'entretien de la vie, l'éclairement, le traitement des données etc. La conception actuelle prévoit 16 récipients d'échantillons.

Installation de cristallisation des protéines (PCF)
La PCF permettra aux chercheurs d'effectuer des expériences de cristallisation de protéines dans l'espace. Son concept a été dérivé de l'expérience Cryostat IES334 de la FSLP et d'études préalables à la phase A. La conception fait appel à 12 réacteurs identiques qui procurent une ambiance à température contrôlée isolément pour chacun des 12 échantillons.

Installation de croissance en solution (SGF)
La SGF est essentiellement un ensemble de 'réacteurs' permettant la croissance de cristaux, contrôlée par diffusion, à partir de solutions. Son concept a été dérivé d'installations semblables mises au point pour la FSLP et l'installation d'exposition de longue durée (LDEF) de la NASA et à partir d'études préalables à la phase A. Chaque réacteur se compose de deux réservoirs pour les produits réagissants et d'une chambre à solvant, reliés entre eux par des vannes spéciales, dont l'actionnement ne doit créer qu'un minimum de turbulence dans les liquides.

LE PROGRAMME DE MICROGRAVITE – PHASE 2

L'ESA est en train de programmer une seconde phase de son programme de microgravité, au cours de laquelle les installations à usage multiple mentionnées plus haut, telles que le Traîneau, le Biorack, le Module amélioré de physique des fluides, seront réutilisées et des installations nouvellement mises au point telles que Anthrorack (qui est conçu pour permettre des recherches fondamentales en physiologie humaine), l'Unité 'gouttes et bulles', etc., voyageront pour la première fois dans l'espace. La possibilité de créer un 'Laboratoire International de Microgravité' faisant appel à ces différents éléments est à l'heure actuelle en cours de discussion avec la NASA et les Etats membres de l'ESA. Le fait que l'ESA s'est lancée dans ce nouveau domaine peut avoir une grande importance pour l'avenir. Comme dans tout nouveau domaine, un degré considérable de recherche fondamentale est nécessaire avant que les applications potentielles soient connues et deviennent disponibles. Mais on espère que cette recherche conduira à des améliorations qui auront une influence directe sur la vie de l'homme sur Terre. La croissance de cristaux plus parfaits pour les composants électroniques, les procédés métallurgiques perfectionnés permettant d'obtenir des alliages de meilleure qualité ou nouveaux, une compréhension plus approfondie du corps humain, etc., ne sont que quelques-unes des voies de recherche qui seront explorées dans les années à venir.

Station spatiale

Spacelab a marqué avec un éclat sans pareil l'entrée de l'Europe dans le domaine des vols habités. La participation de l'Europe à la prochaine grande étape – la présence permanente d'hommes en orbite – se situe dans le droit fil de ce premier programme.

Le rôle considérable et parfois essentiel que peut jouer l'homme a été démontré; ainsi l'utilité des programmes 'habités' au-delà de considérations de prestige et de technologie est établie. Les missions envisageables pour les années 90 semblent presque toutes devoir bénéficier de la présence d'une station spatiale qui serait à la fois la station-service et le laboratoire de l'espace. Conçue comme un système évolutif abritant initialement un équipage de 8 à 10 hommes mais destiné au fur et à mesure des besoins à croître, la station spatiale assurera non seulement les opérations de maintenance de satellites ou de plates-formes, d'avitaillement de remorqueurs spatiaux, d'entrepôt de matériel en attendant leur retour au sol ou leur utilisation en orbite, mais aussi l'assemblage des éléments nécessaires pour certaines missions qui dépassent les capacités des véhicules de transport (grande plate-forme de télécommunications, véhicules d'exploration planétaire, etc.).

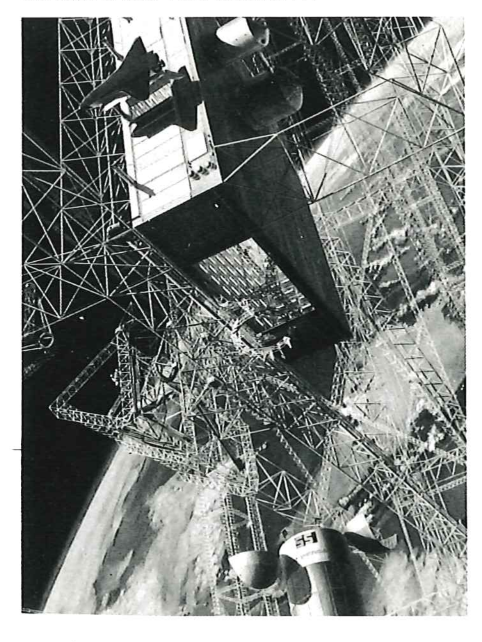
Le Spacelab a démontré en particulier l'importance de l'intervention humaine pour les manipulations requises par les nouvelles disciplines, prenant avantage de la situation de quasi-apesanteur offerte par les véhicules spatiaux; les perspectives de nouvelles applications spatiales ouvertes par ces expériences rendent pratiquement indispensable le recours aux stations spatiales habitées. Si ces applications débouchaient sur une véritable production commerciale spatiale, l'Europe devrait alors en avoir la maîtrise des moyens nécessaires.

Au cours des années 82 et 83, l'Agence a participé avec la NASA aux efforts de définition de la station spatiale américaine et avec le concours de pratiquement toute l'industrie aérospatiale européenne; elle a étudié les différents éléments de futures stations spatiales afin de comprendre l'ensemble du système et de cerner les éléments qui se prêteraient le mieux à une contribution européenne.

De grands panneaux solaires fournissant jusqu'à 60 kW, des radiateurs de grande dimension permettant de dissiper les puissances correspondantes, des remorqueurs dotés d'une capacité d'intervention évoluant à proximité de la station, le module d'habitation, des modules laboratoire, les modules logistiques, les plates-formes associées, sont parmi les éléments qui ont été étudiés avec l'industrie. Les modules laboratoire et logistiques représentent à l'heure actuelle des éléments de stations spatiales qui paraissent le mieux profiter des gains du programme Spacelab et permettre d'acquérir de nouvelles technologies. Naturellement les conditions qui régiraient une participation de l'Europe au programme de station spatiale américaine (droit d'accès à l'ensemble du système, responsabilité d'opération de l'élément fourni par l'Europe, compensation de l'effort financier de développement consenti par l'Europe par l'utilisation gratuite de services fournis par la station, etc.) pèseront considérablement sur la décision que les Européens seront appelés à prendre.

Dans l'attente de cette décision qui pourrait intervenir en 1985 et en vue de préparer une participation de l'Europe, l'Agence a proposé à ses Etats membres d'entreprendre des études de définition détaillée (phase B) de l'élément (ou des) éléments) le(s) plus prometteur(s) pour un développement par l'Europe.

Un clin d'oeil vers le futur...





Les fruits de la technologie spatiale

Lorsqu'on jette un regard en arrière sur les activités, d'abord de l'ESRO, puis de l'ESA, au cours des vingt années écoulées, on constate que tous les rapports annuels mentionnent des activités de recherche & développement dans le domaine de la technologie spatiale. La nature et l'importance de la recherche technologique ont varié au cours des années en comparaison des autres activités de l'Organisation.

A partir du principe (décidé au moment où la COPERS donna naissance à l'ESRO) consistant à faire de la recherche appliquée de façon interne, surtout dans les laboratoires qui devaient être créés dans l'établissement technique de l'ESTEC, il y a eu une tendance progressive à confier à l'industrie la majeure partie des travaux consacrés à la préparation de la technologie requise pour les projets spatiaux. Les premiers contrats de quelque importance pour la recherche technologique, que l'on appelait à l'époque 'recherche appliquée', furent en fait attribués en 1968.

L'idée d'un programme intégré et bien équilibré dans ce domaine ne porta ses fruits que plus tard. Au début, le programme était fixé sur une base annuelle, mais par la suite il fut développé dans le cadre d'un plan à moyen terme de l'Agence. Cela n'alla pas sans difficulté. En effet, avant la création de l'ESA, certains Etats membres qui menaient déjà des activités technologiques dans le cadre d'un programme national et qui comptaient parmi les plus gros pourvoyeurs de fonds de l'ESRO, mirent en question le rôle de l'Organisation dans ce domaine particulier.

Il fallut revoir tout le contexte de la recherche technologique spatiale en Europe ainsi que les rôles respectifs de l'ESRO et des organisations spatiales nationales. C'est ainsi qu'on adopta l'idée d'une harmonisation des programmes de recherche technologique européens, impliquant la coordination des efforts dans certains secteurs techniques. Avec l'accord des Etats membres concernés, cette idée a été progressivement mise en oeuvre, garantissant les intérêts de toutes les parties tout en assurant l'orientation efficace de tous les travaux consacrés à la technologie spatiale en Europe.

Ultérieurement, afin de faciliter un effort concerté avec les Etats membres et l'industrie, et d'aider les organismes décideurs à déterminer les objectifs de l'Agence dans les différents domaines techniques, une nouvelle démarche – basée sur une analyse complète secteur par secteur – fut adoptée en 1976. Cela nécessita l'établissement, pour chacun des principaux secteurs de la technologie spatiale, d'un dossier précisant les objectifs techniques, les implications industrielles, la coordination possible avec les activités nationales et le programme de recherche proposé en conséquence. Environ trente dossiers furent établis en trois ans et reçurent l'agrément du Comité de la politique industrielle. En plus de cette analyse détaillée secteur par secteur, l'Agence produisit en 1977 un document intitulé 'La politique technologique de l'Agence spatiale européenne', qui dressait le tableau d'ensemble d'une politique technologique à moyen terme et des aspects industriels correspondants, une attention toute particulière étant prêtée à la notion de spécialisation industrielle. Après examen par le Comité de la politique industrielle, et à partir de ses recommandations, un 'programme à moyen terme' pour les trois années suivantes (1978–1980) fut établi et revu l'année suivante.

Source d'antenne 20 GHz pour satellite de télécommunication.

Introduction

Afin de relever le défi technologique des années 1980, l'Agence procéda en 1979 à un tour d'horizon critique de toutes ses activités de recherche technologique pour voir si elles correspondaient aux besoins futurs. A la suite de ce tour d'horizon on adopta une nouvelle démarche, essentiellement pour répondre aux besoins résultant de l'accroissement de la complexité technologique des satellites qui devaient être mis au point en Europe dans les années 1980 et 1990 et pour sélectionner, sur une base multidisciplinaire et autour d'objectifs spécifiques, les thèmes de recherche les plus appropriés dans les limites du budget imparti.

La place de plus en plus grande de la recherche technologique dans les activités de l'Agence est attestée par les statistiques budgétaires. En termes d'autorisations de paiement, le budget annuel consacré à l'ensemble des activités technologiques de l'ESRO et de l'ESA, en y englobant les coûts internes et externes, a été estimé entre 0,5 MUC en 1969 et 30,4 MUC en 1982. Par comparaison avec le budget annuel total, l'effort technologique a été accru de 1% à 5% environ au cours des dernières années. Mais lorsqu'on considère ce dernier chiffre, il y a lieu de noter que les activités technologiques de l'ESA ont été surtout orientées vers les besoins des satellites (satellites scientifiques aussi bien que d'applications), et très peu, sinon pas du tout, vers les systèmes de transport spatial (Ariane et Spacelab), qui ont représenté une part appréciable des budgets annuels récents de l'Agence.

Les programmes de recherche technologique

OBJECTIFS GENERAUX ET STRUCTURE

Bien que les activités technologiques de l'ESRO et, ultérieurement, de l'ESA aient progressivement évolué au cours des vingt années écoulées, il y a eu plusieurs objectifs permanents, à savoir: faire en sorte que la technologie requise par les programmes de l'Agence soit disponible au moment opportun et maintenir un haut niveau de compétence de la technologie spatiale en Europe. Pour atteindre ces objectifs, l'ESRO et l'ESA se sont efforcés:

Sur le plan technique

- de faire ce qu'il fallait pour disposer au moment opportun de la technologie nécessaire pour mener à bien les missions futures;
- de rechercher des solutions technologiques offrant une rentabilité optimale, tout en déployant un effort de normalisation;
- de tenir compte des tendances d'évolution de la technologie pour faire en sorte que les projets spatiaux bénéficient du progrès technique;

Sur le plan industriel

- d'améliorer la compétitivité de l'industrie européenne dans son ensemble sur les marchés mondiaux de l'espace, ce qui impliquait de prendre également en considération les besoins technologiques probables des missions non européennes;
- de renforcer la position des industries les plus dynamiques en rationalisant les compétences potentielles et en concentrant l'effort financier consacré à la technologie sans abandonner la notion de concurrence entre firmes européennes;
- de faire en sorte que la participation aux activités spatiales européennes de firmes industrielles de tous les Etats membres soit réelle et équitable.

De ces objectifs, il ressort que la recherche technologique n'a jamais été considérée comme une activité isolée ni comme une fin en soi. Par ailleurs, il y a lieu de mentionner un effort constant pour accroître l'efficacité du programme de recherche technologique en recherchant tous les moyens de faciliter la mise en application concrète des techniques mises au point dans le cadre de ce programme.

La recherche technologique de l'Agence a été menée dans le cadre de divers programmes, notamment un 'Programme de recherche technologique' de base et divers programmes 'de soutien', qui sont financés séparément et obéissent à des règles différentes. Néanmoins, les activités technologiques de l'Agence doivent être considérées comme un tout, et lors de l'élaboration de la nouvelle approche en 1979, certains principes furent conservés pour distinguer les objectifs différents mais complémentaires de ces deux types de programme.

Le **Programme de Recherche technologique de base** fait avancer l'état de la technique dans les principaux domaines communs de la technologie spatiale en fonction des besoins prévisibles des missions, jusqu'au stade de la 'faisabilité démontrée', grâce à des études exploratoires, à un premier travail de conception et à la réalisation d'éléments critiques et de maquettes sur table. Il couvre les besoins des missions à moyen et à long terme (4 à 10 ans environ), et ses résultats globaux s'appliquent à l'ensemble des programmes futurs de l'Agence. Il définit, en termes larges, les risques inhérents aux phases ultérieures des développements technologiques.

Les **Programmes de Soutien technologique,** liés aux programmes majeurs de l'Agence, sont relatifs à des besoins reconnus de projets ou de programmes à court et moyen terme (2 à 6 ans environ). En général ils font avancer la technologie du stade de la 'faisabilité démontrée' au stade de la démonstration d'aptitude au vol, par l'intermédiaire d'un modèle d'identification. Ces programmes réduisent notablement les risques que la qualification de la technologie restante soit entreprise dans la phase de réalisation d'un satellite. Les télécommunications et l'observation de la Terre sont ici les deux thèmes principaux. En ce qui concerne les télécommunications, un premier programme de soutien technologique fut lancé au début des années 1970 pour compléter la préparation du satellite OTS. Il fut suivi par le Programme de systèmes et de technologie de pointe (ASTP) entrepris en 1978 pour une durée de quatre ans et prolongé en 1982 pour une autre période de quatre ans. En ce qui concerne l'observation de la Terre, le Programme préparatoire de télédétection (RSSP), lancé en 1979 pour préparer la mise au point du 'Satellite européen d'étude des ressources terrestres' (ERS-1), se composait principalement d'une mise au point technologique de soutien. Depuis 1982, un nouveau programme de soutien, le Programme préparatoire d'observation de la Terre (EOPP), incluant une large part d'activités technologiques, est en préparation; ce programme sera entrepris en 1984. En ce qui concerne les autres domaines d'intérêt de l'Agence, des programmes de soutien technologique pour la microgravité et les système de transport spatial ont fait l'objet de propositions qui devraient se matérialiser en 1984.

Pour compléter ce résumé de la structure des programmes technologiques de l'ESA, il y a lieu de mentionner l'aspect 'harmonisation'. L'effort européen en

matière de technologie spatiale se compose d'études et de réalisations financées par l'Agence et par les programmes technologiques nationaux de ses Etats membres. Par l'intermédiaire de la politique d'harmonisation définie il y a quelques années, l'Agence et les Etats membres concernés se sont efforcés de rendre cet effort plus cohérent et aussi rentable que possible. Les plans de recherche technologique à moyen terme de l'Agence ont été et sont encore basés sur de nombreux accords de coopération pour la mise en oeuvre de développements technologiques spécifiques effectués dans les Etats membres.

NOUVELLE APPROCHE DANS LA DEFINITION DES PROGRAMMES TECHNOLOGIQUES

Depuis 1980, l'ESA a adopté une nouvelle démarche dans l'établissement de son programme technologique. Pour la définition technique du programme, cette approche s'articule en trois étapes:

(1) L'analyse des missions futures possibles grâce à l'établissement, pour chaque discipline (science de l'espace, télécommunications, etc.), de modèles relatifs aux occasions de mission permettant de faire avancer la technologie. Ces missions ne sont pas nécessairement celles qui seront réalisées dans le cadre de l'Agence; elles doivent être représentatives du genre de missions qui seront confiées à des engins spatiaux dans une période donnée.

(2) L'analyse des tendances et des besoins de chaque secteur technologique sur une période de dix ans, et la formulation d'une stratégie à long terme. Il s'agit d'essayer de prévoir l'évolution future et de répondre dans la mesure du possible aux trois questions suivantes:

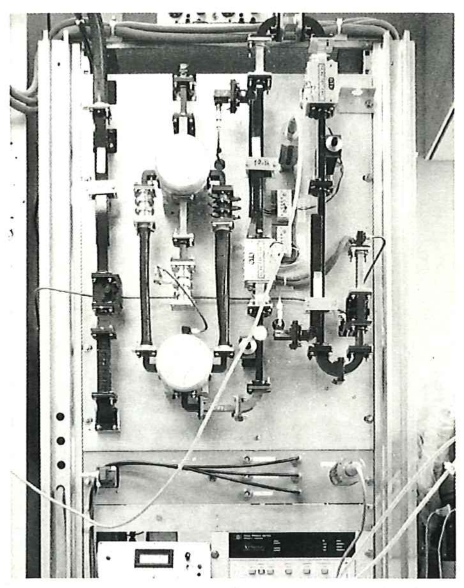
- que renfermeront les générations technologiques à venir?
- quel pourrait être l'état de la technique en Europe dans dix ans?
- comment les choses se présentent-elles en comparaison des développements technologiques attendus aux Etats-Unis et dans d'autres pays industrialisés?

(3) Le choix, la définition détaillée et, si besoin est, la réorientation à partir des deux analyses qui précèdent, des grands thèmes technologiques servant de moteur et de point de mire à l'effort technologique. De 1980 à 1983, six grands thèmes spécifiques et un thème plus général ont été étudiés et choisis pour constituer l'ossature du programme:

- optimisation du réseau télématique Terre-espace pour les années 1990;
- infrastructure technologique majeure pour les communications spatiales dans les années 1990;
- surveillance globale du temps, du climat et de l'environnement;
- utilisation maximale d'Ariane pour les missions sur orbite circumterrestre et dans l'espace lointain (du milieu des années 1980 au milieu des années 1990) avec trois sous-thèmes pour le rendez-vous & amarrage, la propulsion sur orbite et les missions interplanétaires;
- utilisation maximale du Spacelab dans les missions STS (du milieu des années 1980 jusqu'au milieu des années 1990);
- technologie des grandes structures spatiales dans les années 1990;
- maintien de la compétitivité européenne dans des secteurs bien déterminés.

Depuis 1980, cette approche en trois étapes a été suivie chaque année par l'Agence lors de la mise à jour de son plan de recherche technologique à moyen terme. De la sorte, l'évolution inévitable des perspectives de missions et des tendances de la technologie peut être prise en compte. Ainsi, la tendance en faveur de la réalisation d'une station spatiale a conduit à réorienter certains thèmes technologiques majeurs. Les thèmes qui ont été réorientés ou qui ont été ajoutés au programme de 1984 sont:

- espace lointain et moyens d'observation
- utilisation de la microgravité
- utilisation de la microgravité
- technologie des plates-formes spatiales
- opérations en orbite.



Modèle de laboratoire d'un répéteur 30/20 GHz avec matrice de commutation à bande de base.

PRINCIPAUX RESULTATS ET APPLICATIONS

Nous nous sommes efforcé de replacer l'effort technologique de l'ESRO et de l'ESA dans son contexte historique, en résumant les objectifs et les procédures afin de permettre au lecteur de mieux comprendre le cadre dans lequel cet effort se situe. Mais, comme l'indique le titre du présent chapitre, il y a lieu de mettre l'accent sur les bienfaits résultant de ces efforts. Le reste du chapitre présente les principaux progrès qui ont abouti à des résultats et à des applications appréciables dans les divers secteurs technologiques au cours des vingt années écoulées.

SYSTEMES RADIOELECTRIQUES

Technologie des charges utiles

Systèmes et charges utiles de télécommunications

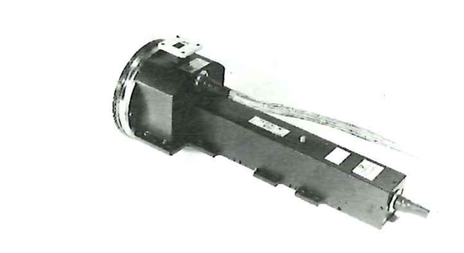
Les activités de recherche & développement sur les concepts et technologies de pointe pour charges utiles se poursuivent depuis le début des années 1970 pour faire face aux besoins d'accroissement des performances des systèmes destinés aux charges utiles des satellites. L'impulsion d'origine fut donnée par le système de Satellite européen de télécommunications (ECS) sur 11/14 GHz. La mise au point de nouvelles technologies et de nouvelles conceptions d'ensemble basées sur l'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) déboucha sur une charge utile modulaire testée au sol et dans l'espace à bord d'OTS (Satellite d'essais en orbite, lancé en mai 1978). Des travaux ultérieurs furent consacrés à l'analyse et à l'étude expérimentale de nouveaux concepts relatifs à des systèmes de répéteurs visant à atténuer l''embouteillage' croissant du spectre radioélectrique et à mieux tirer profit de la puissance d'émission des satellites.

L'augmentation de la capacité de trafic offerte par la bande des 20/30 GHz conduisit à des études technologiques marquées par la démonstration des performances d'un modèle électrique de répéteur de satellite 'transparent' admettant aussi bien les signaux en ondes entretenues que les signaux numériques.

Des techniques et des matériels de régénération des signaux à bord des satellites furent mis au point pour une évaluation des systèmes, dans le cadre d'un concept de répéteur pour le service fixe visant à réduire la dégradation des signaux, induite

par la propagation, que l'on rencontre aux fréquences élevées. Ces technologies forment la base de départ actuelle du projet Italsat.

Le modèle d'intégration d'un réseau piloté en phase à 19 faisceaux fonctionnant en bande L, a donné des résultats nettement améliorés par rapport aux systèmes classiques à faisceau global, avec une augmentation de 7 à 10 dB de la puissance isotrope rayonnée équivalente et 7 à 15 dB de mieux sur les performances d'intermodulation en multiporteuse.





Tube à onde progressive 12 GHz/230 W avec son alimentation.

Technologie des hyperfréquences

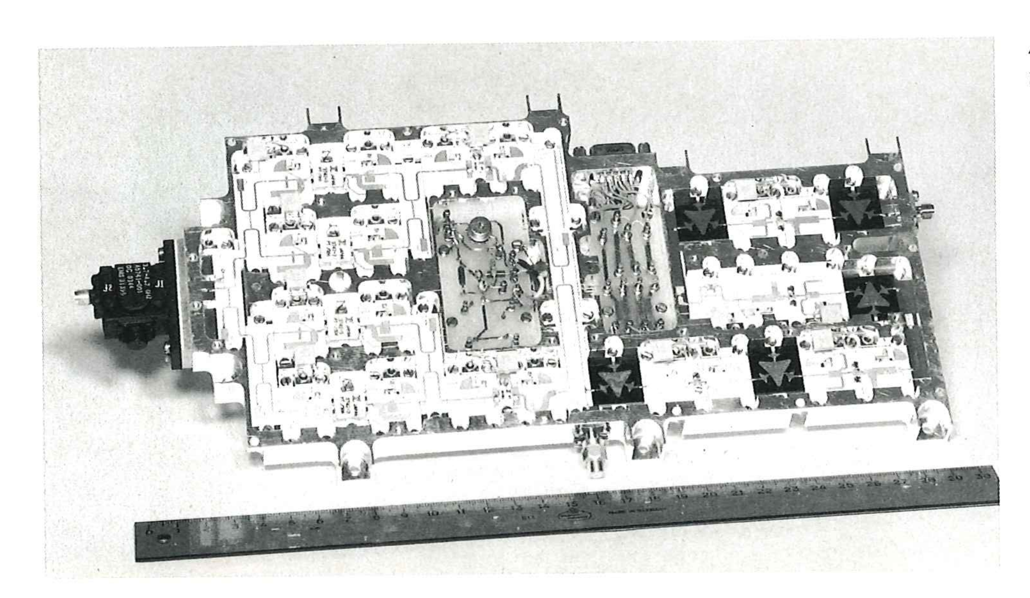
L'exploitation orbitale couronnée de succès des satellites de télécommunications canadien Hermès et européen OTS démontra les réalisations novatrices de l'industrie européenne au début des années 1970 avec un certain nombre de développements critiques de la technologie des hyperfréquences dans la bande 11/14 GHz. Ces réalisations comprenaient en particulier un amplificateur à ondes progressives de 20 W modulés fonctionnant à 11 GHz et un amplificateur paramétrique pour récepteur à faible bruit fonctionnant à 14 GHz.

Les tubes à ondes progressives (TOP) furent développés dans le cadre du programme de soutien technologique de l'Agence, à titre d'activités distinctes, d'une part par AEG (Allemagne), d'autre part par Thomson-CSF (France), et ils ont depuis été utilisés sous diverses formes pour de nombreuses applications spatiales en Europe et aux Etats-Unis. A la date de publication du présent document, un total de 400 à 450 modèles de vol de TOP de 20 W et de ses dérivés avait été livré à différents clients. Les blocs d'alimentation électrique, d'une technologie très élaborée, destinés aux TOP d'AEG et de CSF utilisés pour les programmes de satellites européens ont été mis au point par FIAR (Italie).

La technologie et la fiabilité du TOP équipant le satellite OTS ont été conservées pour l'essentiel dans la conception du tube, adaptée à d'autres fréquences et à d'autres niveaux de puissance, par exemple 20 GHz – 30 W et 12 GHz – 230 W pour les répéteurs de communications avancés et la télédiffusion, et la capacité technique de l'Europe dans ce domaine est sans égale.

L'émetteur du radar à synthèse d'ouverture embarqué sur le satellite de télédétection ERS-1 exigera un amplificateur de puissance délivrant des impulsions à fréquence radioélectrique dont la puissance de crête devra atteindre jusqu'à 10 kW à 5,4 GHz. La mise au point d'un klystron à usage spatial conçu tout exprès a progressé, après des démonstrations concluantes de faisabilité sur maquette jusqu'à la fabrication d'un modèle électrique. A titre de solution de rechange, un TOP à impulsions de grande puissance a également fait l'objet d'une évaluation et en est au même stade de mise au point.

L'amplificateur paramétrique à faible bruit (facteur de bruit 3 dB) sur 14 GHz conçu et mis au point par GTE (Italie) pour OTS a remporté un succès sans précédent, avec environ 70 exemplaires de vol livrés jusqu'à présent à divers clients européens et américains. GTE reste le seul fournisseur de cette technologie avancée, et la poursuite de la mise au point d'une version de 30 GHz pour les missions futures à large bande s'est déjà traduite par la commande de 13 exemplaires de vol destinés à des projets en cours de satellites de communications.



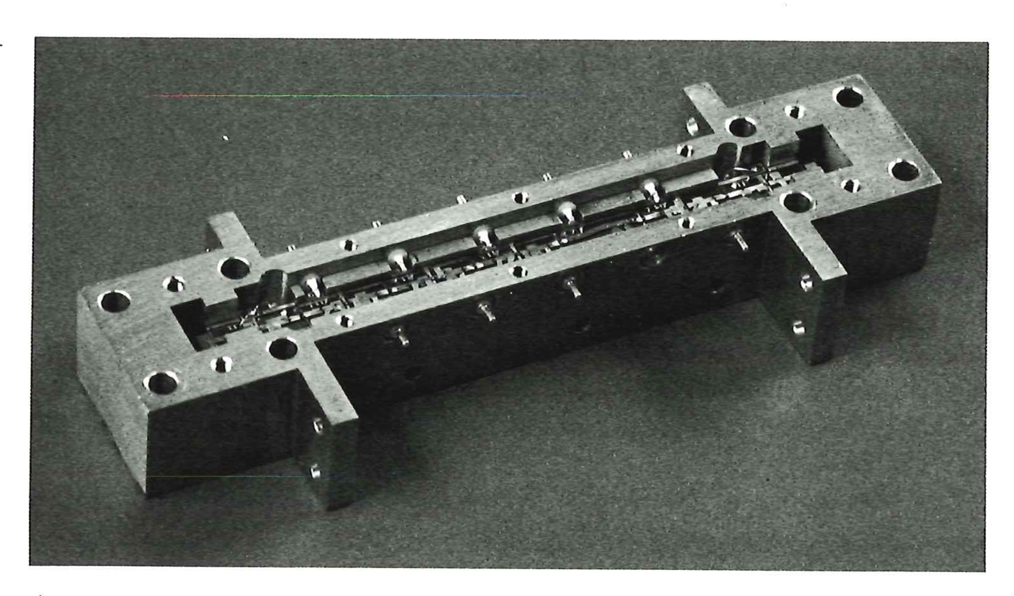
Amplificateur de puissance 4 GHz/10 W à transistors à effet de champ.

Les performances potentielles des filtres et des multiplexeurs en hyperfréquences sont cruciales pour la détermination des performances d'ensemble d'un système de communications, et des modèles avancés ont été conçus et fabriqués à l'Agence aux fins de caractérisation et de démonstration pour les utilisateurs des vols. Un exemple type est celui d'un multiplexeur destiné à combiner entre elles des voies à grande puissance (jusqu'à 500 W) avec le minimum de pertes, applicable aux circuits émetteurs des satellites de télédiffusion directe et des stations sol. Cette capacité de conception de filtres correspondant au dernier état de la technique a été et reste largement utilisée dans la définition des performances des systèmes, et des conceptions uniques en leur genre ont déjà été démontrées comme étant applicables aux futurs systèmes prévus.

Une étude et un développement technologique apparentés concernent des résonateurs diélectriques à l'état solide, dans lesquels des matériaux nouveaux à faibles pertes et à forte constante diélectrique ont été utilisés pour des filtres à hautes performances de très petite taille et très légers par rapport aux configurations classiques en guide d'ondes. On a procédé à un important travail de caractérisation des matériaux et d'évaluation de la conception des résonateurs, et la position éminente de l'Europe dans cette technologie est ajourd'hui démontrée par deux contrats récents passés avec l'industrie par INTELSAT pour la mise au point de filtres à résonateur diélectrique.

L'étude et la mise au point de circuits à semi-conducteurs se sont poursuivies pendant un certain nombre d'années, notamment avec la caractérisation et l'évaluation des performances des transistors à jonction et à effet de champ. Un haut niveau de qualification a été acquis par l'industrie dans les techniques de caractérisation et de modélisation informatique des dispositifs, conduisant à des programmes avancés de conception et de mise au point des amplificateurs à l'état solide destinés aux satellites.

Une démonstration concluante à l'état de 'maquette sur table' d'un amplificateur à TEC de 8 W fonctionnant à 4 GHz (FIAR, Italie) fut suvie par les réalisations actuelles d'amplificateurs 4 GHz de 10 W par FIAR et AEG en vue de leur inclusion



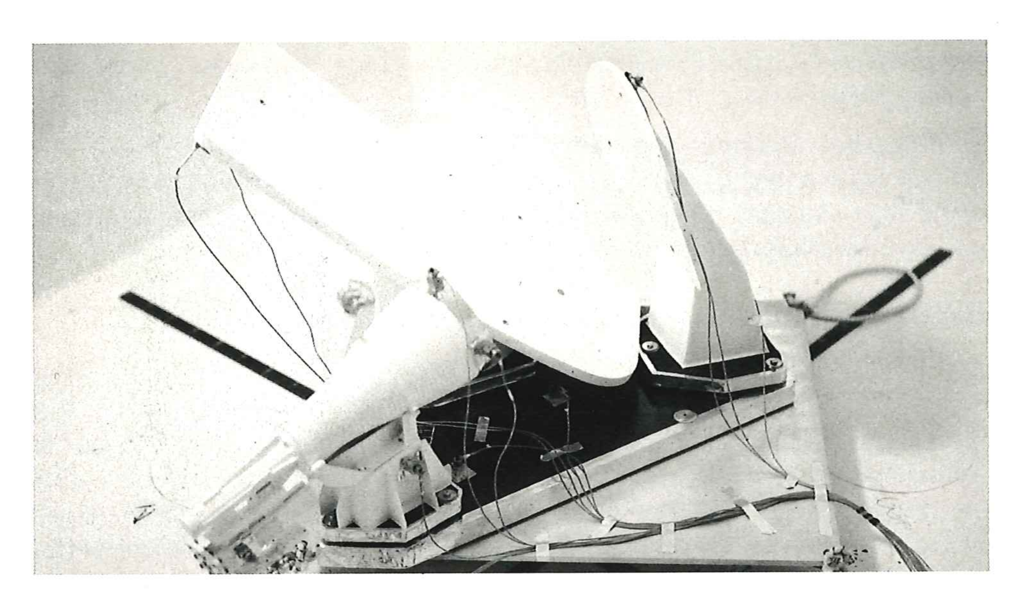
Amplificateur faible bruit 30 GHz à transistor à effet de champ.

dans le programme Ariane-Athos, pour démontrer que les amplificateurs de puissance à semi-conducteurs pouvaient remplacer valablement les amplificateurs spatiaux à ondes progressives à cette fréquence et à ce niveau de puissance.

L'évaluation des performances d'un dispositif à TEC conforme au dernier état de la technique a conduit à la mise au point actuelle par Plessey (Royaume-Uni) d'un amplificateur à faible bruit fonctionnant à 30 GHz et ultérieurement destiné à remplacer l'amplificateur paramétrique, avec l'avantage d'une complexité et d'une masse nettement moins grandes et un important potentiel d'application pour les futures charges utiles de grande capacité.

Des amplificateurs de puissance à transistors bipolaires ont été mis au point avec succès par MSDS (Royaume-Uni) et ont été incorporés à la charge utile de Marecs, actuellement opérationnelle, comme émetteurs multiporteuse linéaires en bande L, pour les communications avec des mobiles. Des améliorations futures de la dynamique et de la linéarité des amplificateurs seront obtenues par l'utilisation de transistors de puissance à effet de champ de conception évoluée, qui sont actuellement en train de subir des épreuves de caractérisation dans les laboratoires de l'Agence.

Dans le cadre du programme permanent de l'Agence consacré à l'évaluation et à la qualification des dispositifs à semi-conducteurs pour matériels embarqués, une unité expérimentale de surveillance des dommages causés par les radiations fut ajoutée à la charge utile d'OTS. Cette unité contient un certain nombre de transistors bipolaires qui sont exposés à l'ambiance de rayonnement orbitale, ainsi qu'un dosimètre qui mesure le niveau du rayonnement incident. Les variations à long terme des paramètres des transistors résultant des effets cumulatifs du rayonnement en orbite de géosynchronisme sont ainsi surveillées et transmises au sol, et les données correspondantes sont utilisées pour la définition et la conception des matériels sensibles aux radiations sur les nouveaux satellites. La collecte des données en est maintenant à sa sixième année et représente la plus importante moisson d'informations statistiques sur le rayonnement en ambiance orbitale qui ait jamais été réalisée.



Antenne du modèle de vol d'ECS-2.

Antennes et propagation

L'étude et la mise au point de modèles d'antennes pour l'espace, ainsi que la collecte à long terme de données statistiques sur la propagation satellite-sol sont des activités continues depuis le début des années 1970. Voici quelques exemples de réalisations:

L'analyse détaillée de diverses formules d'antennes à réflecteur et de diverses optimisations du contour de surface a abouti à la mise au point d'un logiciel complet de la plus haute qualité, qui est utilisé par toutes les grandes sociétés européennes d'étude et de fabrication d'antennes de satellites.

Dans la bande Ku pour OTS et ECS, des antennes à haute pureté de polarisation ont été d'abord mises au point en Europe et ont également été utilisées par INTELSAT.

Des analyses théoriques de conception et de performances de la formule à réflecteur excentré pour les antennes de satellites ont été entreprises et poursuivies avec vigueur par l'Agence, et elles sont maintenant largement utilisées dans la conception des charges utiles, avec de nets avantages pour le découplage de polarisation, un moindre effet de masque et des lobes latéraux moins importants par rapport aux configurations à source non excentrée.

La mise au point de la technique d'essai d'antennes de satellite dans le champ proche avec balayage sur une sphère en coopération avec l'Université technique du Danemark fut une percée importante dans la caractérisation précise des performances des antennes, et il existe aujourd'hui une installation semi-opérationnelle. La théorie et les méthodes ont été adoptées universellement, et l'installation européenne est l'une des meilleures qui soient.

Les données de propagation qui ont été recueillies sur une période de près de 15 ans fournissent maintenant des statistiques prévisionnelles détaillées pour les utilisateurs, et des modèles analytiques d'affaiblissement de transmission et de polarisation croisée sur 11/14 GHz et sur 20/30 GHz en ont été tirés. Tous ces résultats sont utilisés par les différents groupes qui prennent part à la conception

des systèmes de communications par satellite, et ils sont sans cesse complétés et réactualisés par des activités nouvelles.

Télémesure, télécommande & localisation

La principale réalisation dans ce domaine a été l'introduction de répéteurs et d'antennes standard qui équipent pratiquement tous les satellites européens dotés d'un système de télémesure, télécommande & localisation en bande S.

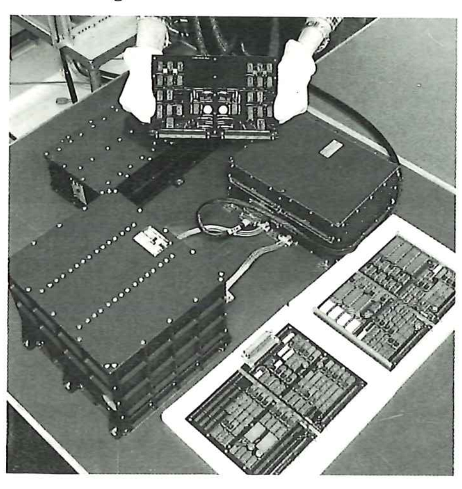
SYSTEME EMBARQUE DE TRAITEMENT DES DONNEES

Des activités de recherche sur la partie 'traitement de données' du sous-système de télémesure, télécommande & localisation ont été menées depuis les tout premiers jours de l'ESRO. Au début, ce sous-système se composait de codeurs de télémesure, d'unités de synchronisation et de décodeurs de télécommande embarqués. Depuis 1974, avec l'augmentation des performances exigées et des capacités technologiques, un système informatique réparti pour le traitement des données à bord (OBDH) destiné à satisfaire les besoins de tous les projets de l'ESA, a été défini et mis au point. Exosat fut le premier projet à en faire usage; les informations étaient centralisées et fournies par ses soins. L'avènement des microprocesseurs a permis d'une part la décentralisation des informations et d'autre part l'incorporation de capacités de calcul aux différentes unités. La version ainsi revue et mise à jour de l'OBDH a d'abord été utilisée par les projets Giotto et ISPM. L'OBDH de l'Agence est un système modulaire et a été utilisé dans différentes configurations pour tous les projets de satellites de l'Agence depuis son introduction, ainsi que pour la plupart des autres réalisations européennes telles que SPOT, TV-Sat/TDF-1, le programme national italien, etc.

Il y a trois classes de configurations d'OBDH pour répondre aux exigences types de traitement de données des missions. Des systèmes d'exploitation sont disponibles pour deux de ces classes.

Actuellement, l'OBDH est en train d'être revu en fonction des nouvelles normes sur le groupage des données en paquets. Sa conception est d'ailleurs continuellement mise à jour pour tirer parti du progrès technologique et des langages et techniques de programmation les plus récents.

Assemblage d'un ordinateur de bord.



Calculateur de bord

L'une des réalisations majeures du 'Programme de recherche sur le traitement de données', au point de vue des retombées pour l'industrie, a été le calculateur de bord ou OBC. L'objectif de l'étude initiale était la conception d'un calculateur modulaire 16 bits. Un modèle d'identification fut construit et soumis à des essais d'ambiance au début de 1975.

Depuis lors, ce calculateur a été utilisé dans un certain nombre de programmes spatiaux européens: environ 50 exemplaires de vol ont été livrés ou sont en commande.

Les projets qui font appel audit calculateur et à ses versions 'maquette élaborée' pour la mise au point du logiciel sont indiqués ci-dessous:

Nombre de calculateurs de bord livrés ou commandés

Projet	*Modèles d'identification*	*Modèle de vol*	*Maquette qualification*	*Maquette en forme*
Contr. ESTEC	1			1
Ariane 1, 2, 3	3	30	1	
Ariane 3 et 4	2	4	1	1
Exosat	1	1	1	3
Hipparcos		1	1 EQM	1
TV-Sat, TDF 1	1	2		2
TLX		1		
Spot-1, Spot-2	1	3		3
ERS-1		1 ou 2 (Contr. en cours de définition)		

Mémoires embarquées

Le programme de recherche technologique de l'Agence dans ce domaine a été formulé pour répondre aux besoins de stockage des données à bord des satellites concernant:

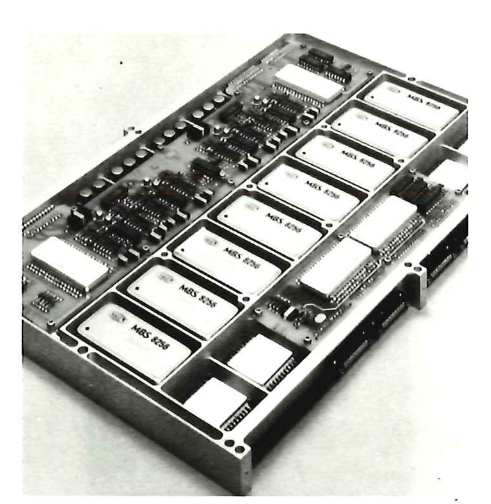
- les calculateurs et microprocesseurs embarqués
- la mise en mémoire tampon des données de télémesure entre deux passages d'un satellite au-dessus d'une station réceptrice
- l'acquisition des données en provenance de charges utiles.

L'évaluation des technologies de mémoire et des exigences des systèmes embarqués est étroitement contrôlée, et à mesure que des technologies concurrentielles deviennent utilisables, on entame la mise au point de modèles de qualification et de vol.

La technologie des **tores magnétiques** constitua dans les années 1960 et jusqu'au début des années 1970 le support consacré pour la mémorisation des données sur ordinateur. La mise au point de cette technologie fut entreprise pour les applications à l'espace – et une petite mémoire à tores fut embarquée sur le satellite Cos-B en 1975.

La technologie des **films minces sur fil** devint compétitive au début des années 1970, et la mise au point d'un modèle de qualification et d'un prototype débuta en 1973. Des mémoires de 140 kilobits environ sont actuellement en usage sur les calculateurs embarqués d'Ariane et d'Exosat, et comme mémoire tampon de télémesure sur Météosat.

Des dispositifs de mémoire à **semi-conducteurs** ont maintenant remplacé aussi bien les tores que les films minces sur fil pour les applications aux ordinateurs et au stockage des données à grande cadence. Une mémoire à semi-conducteurs d'une capacité de 8 mégabits fut qualifiée en 1982 en vue de son emploi sur le



Mémoire à bulles à 16 Mbits (8 boîtiers à 2 Mbits chacun) avec l'électronique associée.

Télescope spatial et des études actuellement en cours doivent aboutir à des prototypes de systèmes de stockage embarqués de 50 mégabits et 200 mégabits vers 1985.

La technologie des **bulles magnétiques** permet la réalisation de mémoires rémanentes de grande capacité qui sont bien adaptées aux applications exigeant de puissants moyens de traitement et de manipulation des données à bord. Etant donné que les dispositifs commerciaux (une puce par bloc de mémoire) ne conviennent pas très bien pour les applications spatiales, un programme spécialisé de mise au point fut lancé en 1978 par l'ESA et le CNES. Un mémoire comprenant 8 puces par bloc a ainsi été mise au point, et la qualification de la technologie fondamentale et du système a été entreprise.

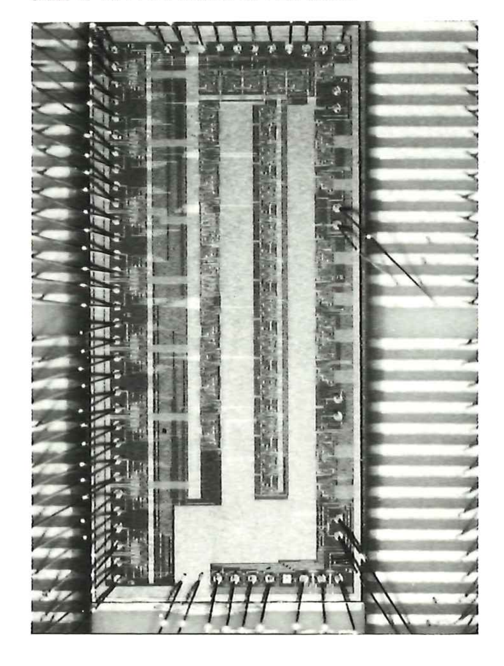
Une mémoire à bulles de 256 mégabits sera utilisée par le projet de 'Plate-forme européenne récupérable' (Eureca). Cette mémoire est assemblée à partir de 'pages' de 32 mégabits composées de 8 blocs contenant chacun 8 puces de 512 kilobits.

La technologie des **enregistreurs à bande magnétique** reste le seul support viable de mise en mémoire pour les très grandes capacités, au-delà de 1 gigabit (10^9 bits). Des produits américains ont été utilisés dans le passé, mais on s'intéresse de très près à d'éventuelles sources européennes futures. Un travail préliminaire est en cours sur les secteurs critiques en préparation de l'éventuelle mise au point d'un modèle de vol européen.

Traitement et stockage de l'information

Le **traitement des signaux** a, au cours des années, pris une importance accrue dans les divers types de missions de l'Agence. En voici quelques exemples:

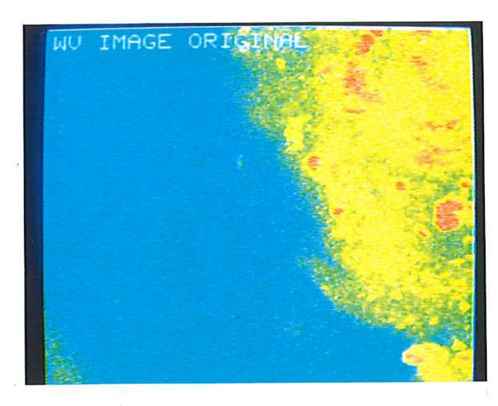
Circuit intégré pour matrice de commutation à 16× 16 voies et 120 Mbit.

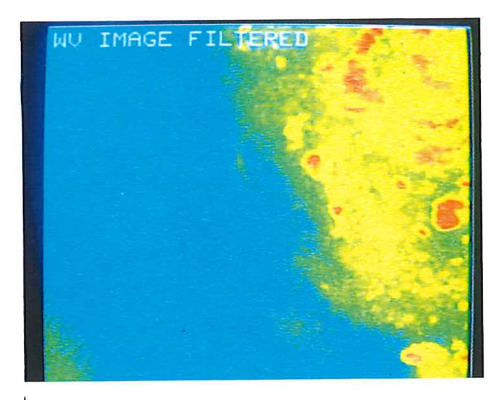


Missions scientifiques. Dans la mission Exosat, la capacité de la liaison descendante exclut la transmission directe des données de la charge utile, et l'OBC est utilisé pour le traitement des données, par exemple le calcul d'histogrammes, sur les données brutes préalablement à leur transmission au sol. L'aptitude qui en résulte de modifier aussi bien le traitement effectué que les paramètres, a été largement utilisée.

Télédétection. Les détecteurs employés pour l'étude des ressources terrestres imposent des conditions draconiennes au traitement des données, qu'il s'agisse du débit d'information, de la complexité des algorithmes ou de la précision des calculs. C'est ainsi que des algorithmes et des processeurs pour les besoins d'ERS-1 (traitement des données du radar à synthèse d'ouverture et altimétrie, par exemple) ont fait l'objet d'études culminant avec la réalisation d'une maquette sur table d'un processeur capable de traiter les données radar en bande C avec une résolution de 25 m.

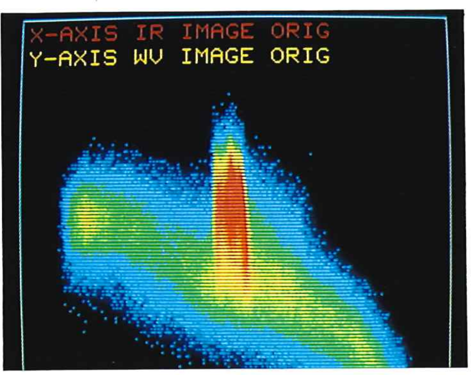
Commutation des liaisons à large bande. La pierre de touche d'un système AMRT avec commutation à bord du satellite est le processeur de commutation. La réalisation principale a été la construction, à l'état de modèle de démonstration, d'une matrice de commutation de 16× 16 canaux à 120 mégabits/seconde utilisant la technologie ECL. Une matrice de 1000× 1000 canaux à 10 Mbs par

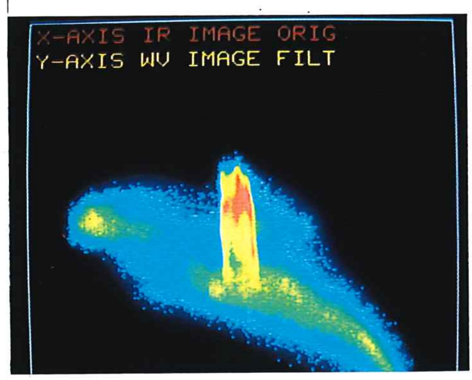




Expérience de filtrage de bruit sur les données d'image Météosat.

(a) Image tausse couleur dans la bande d'absorption de la vapeur d'eau avant et après filtrage du bruit.





(b) Diffusiogramme des images 'vapeur d'eau' et infrarouges avant et après filtrage du bruit.

canal est actuellement à l'étude pour les besoins des systèmes de vidéocommunication.

Traitement et interprétation des images. En plus des applications précitées, une recherche fondamentale sur les algorithmes de traitement, l'interprétation des images et la compression des données a été financée, aboutissant à la mise au point de concepts nouveaux, dont certains ont été brevetés. Cette recherche a également englobé la mise au point de processeurs programmables à grande vitesse (4 Mbs, consommation 15 W en courant continu) afin de fournir la souplesse de traitement voulue (qui s'est avérée utile sur Exosat), pour des applications exigeant une plus grande rapidité.

Codage à correction d'erreur pour la télémesure. Le codage à correction d'erreur sur la télémesure peut assurer une communication pratiquement exempte d'erreurs allant jusqu'à multiplier par six le débit binaire ou à diviser par six la puissance de transmission par rapport à une liaison MIC non codée. La première étude sur le codage convolutif a été achevée en 1972. Des études ultérieures ont abouti à une conception simplifiée du codeur et à un décodeur plus performant (décodage par l'algorithme de Viterbi). Plus récemment, une méthode de codage avec enchaînement, combinant un codage convolutif et un codage Reed-Solomon, a été définie, testée et mise en oeuvre pour la mission Giotto. Ainsi, entre le lancement du premier satellite européen ESRO-2 et le lancement de la sonde Giotto, le débit de télémesure, pour une même puissance de transmission du satellite, s'est trouvé multiplié par six.

APPAREILLAGE EMBARQUE

Appareillage optiques

Détecteurs optiques d'attitude

Ce sont pour ainsi dire les yeux d'un satellite et leur présence est indispensable pour surveiller et commander l'orientation d'un satellite par rapport à des corps célestes comme le Soleil, les étoiles, les planètes et la Terre. Alors que les chercheurs solaires et stellaires opèrent dans la partie visible du spectre, les chercheurs visant la terre ou une autre planète exploitent le rayonnement thermique infrarouge ou le rayonnement solaire réfléchi (ou albedo). La majorité des satellites sont jusqu'à présent tournés vers la Terre, et dès la fin des années 1960 la mise au point de détecteurs à référence terrestre a abouti à la réalisation d'un indicateur infrarouge de traversée d'horizon qui fut embarqué sur ESRO-4 en 1972. Ce type de détecteur fut ultérieurement employé sur de nombreux satellites stabilisés par rotation comme Geos, Météosat et OTS dans la phase de transfert.

L'avènement des satellites de télécommunications géostationnaires stabilisés sur trois axes a donné lieu à la mise au point de capteurs de rayonnement infrarouge terrestre fournissant des informations d'attitude suivant deux axes. Deux types de capteurs de cette sorte sont maintenant disponibles en Europe et ont été utilisés sur des satellites comme OTS et ECS.

Les détecteurs d'albedo destinés aux satellites stabilisés par rotation sont relativement simples et bon marché mais généralement moins précis que les capteurs infrarouges. Ils ont été utilisés pour les missions Heos et Cos-B. Des versions avancées fournissant également des informations de traversée du disque solaire sont maintenant disponibles en Europe; un détecteur dérivant de cette mise au point est incorporé à la sonde ISPM.

De nombreux types de capteurs solaires destinés à des satellites stabilisés par rotation et à des satellites stabilisés sur les trois axes ainsi qu'à des fusées-sondes ont été mis au point au cours des deux dernières décennies. L'avènement de détecteurs à réseau de semi-conducteurs en 'mosaïque' de grande qualité au milieu des années soixante-dix offrit une approche élégante pour parvenir à de très grandes précisions. Cela se reflète dans la mise au point réussie d'un chercheur solaire numérique précis à moins d'une seconde d'arc près, et dans la mise au point encore en cours d'un chercheur solaire à performances améliorées.

L'utilisation de chercheurs d'étoiles est le moyen le plus direct et le plus précis de fournir des informations d'attitude par rapport à un repère inertiel, ce qui est une condition fréquemment requise dans les missions astronomiques. Au début des années 1970 fut mis au point un prototype de répéreur d'étoiles muni de détecteurs au silicium, permettant de déterminer avec une grande précision l'orientation de l'axe de rotation d'un satellite. Ce type de matériel est maintenant utilisé sur Giotto. Des chercheurs d'étoiles permettant une commande d'orientation suivant trois axes ont été mis au point pour Exosat et pour le Système de pointage d'instruments (IPS) du Spacelab. Cependant, ces détecteurs font encore appel à la technologie des tubes à découpage d'image, qui présente certains inconvénients. Comme dans le cas des chercheurs solaires, le fait qu'on dispose maintenant de détecteurs à semi-conducteurs du type mosaïque, joint à l'emploi

des microprocesseurs, offre des avantages considérables. C'est pourquoi l'Agence poursuit depuis plusieurs années la mise au point de chercheurs d'étoiles faisant appel à ces nouvelles technologies.

Techniques de détection

Les performances des instruments d'optique sont pour une grande part déterminées par leur pouvoir de détection et de résolution spatiale du rayonnement incident. Aussi une très grande attention a-t-elle été portée à la mise au point des détecteurs.

Concurremment à la réalisation de détecteurs infrarouges d'attitude à la fin des années soixante, on a entrepris la mise au point de bolomètres et de détecteurs thermovoltaïques. Ces détecteurs tirent leur signal de la toute petite augmentation de température que le rayonnement infrarouge incident produit dans l'élément détecteur.

Afin de satisfaire les besoins des missions d'astronomie dans l'infrarouge comme ISO et GIRL par exemple, en harmonie avec les efforts nationaux allemands, une série de détecteurs quantiques à hautes performances, couvrant l'intervalle de longueurs d'ondes de 20 à 100 μm, ont été mis au point au cours des dernières années, permettant ainsi aux astronomes européens de ne plus dépendre des fournisseurs américains.

Le principe de la détection hétérodyne est utilisé depuis longtemps dans les récepteurs radio. En faisant appel au même principe pour la détection du rayonnement infrarouge lointain, on dispose d'un outil très efficace pour la spectroscopie à haute résolution dans la gamme des longueurs d'ondes inférieures au millimètre. Depuis le milieu des années soixante-dix, la mise au point des composants nécessaires a été poursuivie avec un grand succès et a abouti à un ensemble détecteur opérant dans l'intervalle de longueurs d'onde compris entre 500 μm et 1 mm. On envisage d'utiliser la technologie ainsi mise au point dans des missions d'astronomie comme FIRST et pour la recherche atmosphérique.

Le programme de télédétection de l'Agence a donné lieu à la mise au point de détecteurs à mosaïque, entamée il y a environ quatre ans. Ces détecteurs, composés de milliers d'éléments sensibles de très petite taille, sont utilisés pour l'imagerie des nuages et des caractéristiques de surface de la Terre sur diverses longueurs d'ondes. L'effort actuel est axé sur la réalisation de détecteurs à mosaïque sensibles dans la partie infrarouge du spectre pour fournir des images de la répartition des températures.

Technologie des lasers

Les lasers sont des sources qui émettent un rayonnement cohérent dans la partie ultraviolette, visible ou infrarouge du spectre, sous forme de faisceaux fortement collimatés de grande puissance et de grande pureté spectrale. Cela autorise des applications très diverses, comme par exemple la transmission de données par l'intermédiaire de liaisons laser, les mesures de distance et de vitesse, l'interférométrie et la spectroscopie.

Depuis la fin des années soixante-dix, l'Agence a étudié la mise au point du matériel informatique nécessaire aux équipements embarqués à base de lasers.

En prévision des besoins futurs de liaisons inter-satellites à grand débit de données, des efforts considérables ont été déployés pour la mise au point d'un bloc de communications grâce auquel les données sont transmises non plus par radio mais au moyen d'un faisceau émis par un laser à CO_2. Les avantages principaux d'un tel système de communications par laser d'un point de l'espace à un autre résident dans la taille relativement faible des antennes et dans le fait qu'on dispose d'une large bande passante. Ce programme est harmonisé avec des programmes nationaux allemands.

Pour assurer la grande précision de repérage requise pour l'observation des mouvements tectoniques et des anomalies gravitationnelles à partir de plates-formes spatiales, des techniques de mesure de distance par laser et les instruments correspondants sont en cours de mise au point depuis plusieurs années. Pour la poursuite des satellites largués d'un autre engin spatial ainsi que pour le rendez-vous et l'amarrage entre satellites, un modèle de démonstration d'un petit télémètre équipé de diodes laser a été réalisé.

Les études récentes se sont concentrées sur l'emploi de lasers embarqués pour l'étude de l'atmosphère et l'altimétrie. On prévoit que les applications futures des lasers dans l'espace comprendront également le pilotage et l'alignement de grandes structures et de formations de satellites.

Appareillage destiné à des expériences en microgravité

La gravité résiduelle qui existe dans un satellite sur orbite est quelque 100 000 fois plus faible qu'à la surface de la Terre, et cette quasi-absence de gravité ouvre de nouvelles voies aux chercheurs; les spécialistes de la science des matériaux et des sciences de la vie peuvent bénéficier de cette branche de la recherche, que l'on appelle maintenant collectivement sciences de la microgravité.

Pour se livrer à ce genre de recherche, il était nécessaire d'élaborer toute une nouvelle branche de la technologie instrumentale. Une catégorie majeure de problèmes découla du fait que toute perturbation créée devait être nettement moindre que les perturbations résultant de l'ambiance et que, dans la mesure du possible, les mesures devaient être 'non envahissantes', c'est-à-dire être faites extérieurement au système considéré.

Les travaux furent initialement axés sur un laboratoire de science des matériaux pour la première mission Spacelab; comprenant essentiellement un module de physique des fluides ainsi que des fours et des moyens permettant la croissance des cristaux, ce laboratoire permettra d'étudier la solidification des métaux, la production de nouveaux alliages et de nouveaux matériaux composites, la cristallisation et les propriétés des fluides et des surfaces.

Une foule d'instruments ont été et continuent d'être mis au point pour servir cette nouvelle branche de la science. On donne ci-après quelques exemples caractéristiques des innovations réalisées dans diverses sous-disciplines:

Elaboration des matériaux sans contact: un problème particulier posé par la production de matériaux à haute température lorsqu'on est sur terre est la contamination résultante du récipient; la faible pesanteur qui règne dans l'espace permet d'utiliser des champs acoustiques et électrostatiques pour soulever et manipuler des échantillons sans qu'ils touchent les parois du récipient. Des

mélangeurs acoustiques permettent de mélanger dans l'espace des matériaux qui, normalement, ne sont pas miscibles.

Fours. Des fours à hautes performances faisant appel à la technologie des faisceaux d'électrons et à la technologie des caloducs sont en cours de mise au point.

Médecine spatiale. Des instruments permettant d'étudier l'adaptation de l'homme à l'absence de pesanteur (y compris des appareils pour la prise d'images ultrasonores, l'analyse de la respiration, des fonctions cardiovasculaires, sensori-motrices et vestibulaires) sont en cours de mise au point.

Biologie. La macro- et la micro-observation des organismes vivants, la conservation, le stockage et l'évaluation des données biologiques, l'entretien de la vie et la de mise au point de systèmes permettant de faire la différence entre les effets des rayonnements et les effets de la gravitation, ne sont que quelques-uns des sujets de recherche dans ce secteur.

Physique des fluides. Des instruments permettant de procéder de l'extérieur à des mesures de température, de pression, de concentration et de champs d'écoulement, ainsi que des dispositifs de visualisation en trois dimensions et des systèmes permettant d'étudier le comportement des bulles, des gouttes et des particules au sein d'un liquide, sont en cours de mise au point.

Technologie des satellites

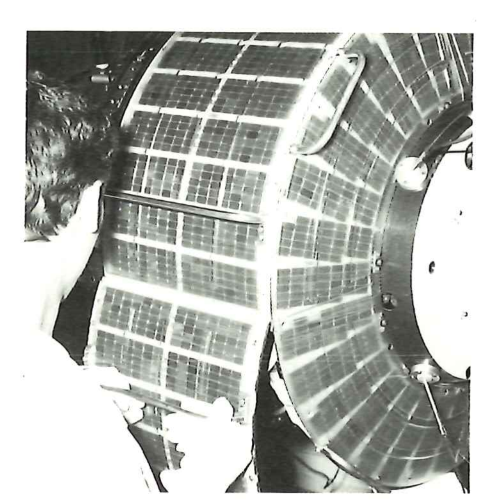
PRODUCTION, STOCKAGE ET DISTRIBUTION D'ENERGIE

Panneaux solaires

L'Europe peut se prévaloir de résultats très flatteurs dans la mise au point de panneaux solaires, et à l'heure actuelle il s'agit d'une des technologies spatiales dans laquelle une position compétitive a été atteinte sur le marché mondial: des panneaux de photopiles européens sont non seulement fournis pour des projets spatiaux européens tant nationax qu'internationaux, mais aussi pour des programmes à l'échelle de plusieurs continents comme INTELSAT et INMARSAT. Des exemples remarquables du succès déjà obtenu par la technologie européenne des panneaux solaires à l'étranger sont le satellite d'exploration internationale dans l'ultraviolet (IUE) réalisé en coopération avec la NASA, le satellite technologique de communications (CTS) américano-canadien et le Télescope spatial.

Pour conserver cette position, il faudra un vigoureux effort de développement, étant donné les exigences croissantes des satellites en termes d'augmentation de puissance, d'allègement, de souplesse de fonctionnement et de longévité en orbite. Les prestations techniques seront encore améliorées par le progrès même de la technologie, qui conduit à des piles solaires plus performantes et à un abaissement des coûts grâce à l'automatisation des processus de fabrication, les piles solaires de grande surface nécessitant un moindre effort d'intégration et autorisant une meilleure rationalisation. Les étapes principales et les concepts généraux de base de cette évolution en Europe sont schématisés plus bas.

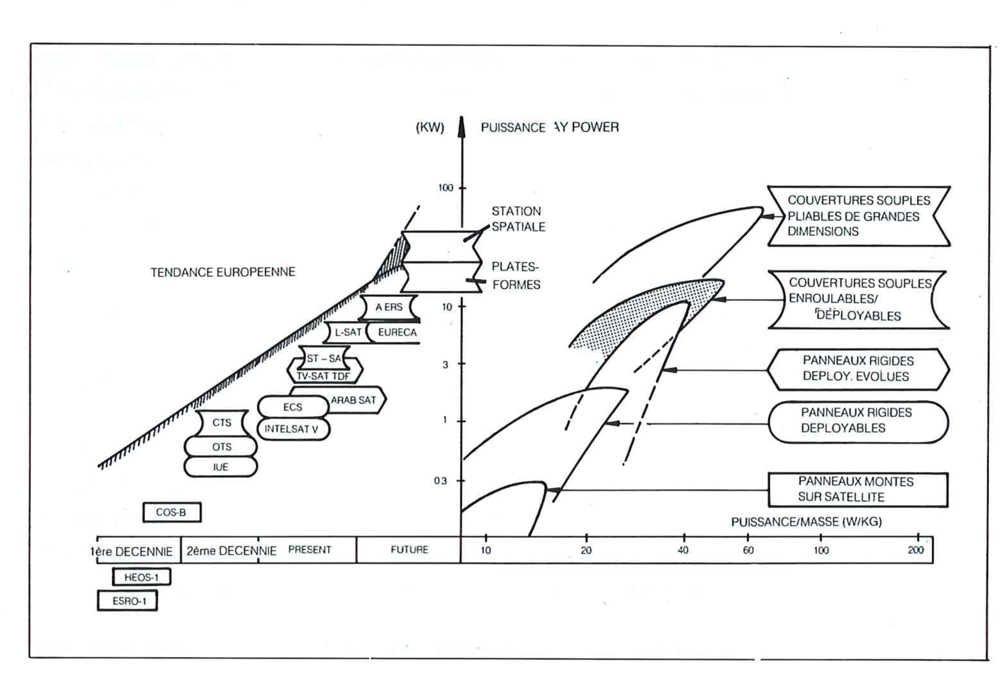
La meilleure façon d'illustrer les réalisations passées est de comparer des



Assemblage des cellules solaires d'ESRO-1.

panneaux solaires types d'il y a vingt ans avec ceux d'aujourd'hui. Des progrès ont été accomplis sur deux fronts principaux pour assurer le gros surcroît de puissance nécessaire aux satellites actuels: d'une part la taille des générateurs solaires a augmenté de façon spectaculaire, et d'autre part les caractéristiques des piles solaires prises isolément ont été grandement améliorées. La puissance des panneaux solaires du premier satellite ESRO 1 était de 21 W; cette puissance était fournie par des photopiles au silicium de 1×2 cm collées sur le corps du satellite et reliées électriquement entre elles par des joints de soudure. Aujourd'hui, on dispose de générateurs solaires dont la puissance peut dépasser les 5 kW. Pour des niveaux de puissance inférieurs à 6 kW, des panneaux déployables rigides de conception évoluée offrent des solutions extrêmement rationnelles du point de vue masse, grâce à l'utilisation d'ossatures ou de semelles en fibres de carbone. Des panneaux solaires évolués, à nappe souple de cellules, dans des configurations enroulées ou repliées, sont mieux à même de répondre à des besoins qui continuent d'augmenter, donnant accès à une gamme de puissance de 10 à 50 kW pour des applications exigeant une grande légèreté sous un faible volume. Exemple de l'utilisation d'un panneau solaire de grandes dimensions: le satellite Olympus. La conception couvre la gamme des puissances de 3 à 8 kW.

Le progrès technologique dans le domaine des photopiles proprement dites a abouti à des éléments de grande surface, à savoir 2×4 cm pour Olympus, et 5×5 cm pour des applications futures. L'épaisseur des piles a été ramenée de presque un demi-millimètre à 180 μm, et un nouvel amincissement à 50 μm est dans sa phase de mise au point finale. Les piles sont reliées par des interconnexions soudées au moyen d'un dispositif à électrodes parallèles. Les interconnexions soudées présentent en effet des caractéristiques de tenue à la chaleur et de fatigue thermomécanique nettement meilleures qui les rendent particulièrement aptes aux missions de longue durée comportant un grand nombre de passages en éclipse.



Evolution de la technologie des panneaux solaires en Europe.

La technologie des nappes souples de cellules et la technologie des interconnexions soudées ont toutes deux été mises au point en Europe et ont été largement utilisées dans de nombreux projets de satellites. Hors d'Europe, aucune expérience notable n'a été acquise jusqu'à présent dans des projets opérationnels sur ces mêmes technologies. Cependant, de vastes programmes de mise au point sont en cours aux Etats-Unis en prévision de la prochaine génération de satellites. Ce n'est que par un programme de soutien technologique systématique et intensif que l'Europe aura une chance de conserver sa position dans la technologie des panneaux solaires sur un marché mondial.


Panneau solaire d'Olympus.

Conditionnement de puissance

S'écartant de la tendance observée sur les satellites américains, les systèmes d'alimentation en énergie de l'ESRO et de l'ESA sont généralement basés sur l'idée qu'une alimentation stable et bien régulée doit être garantie aussi bien en éclipse qu'à la lumière solaire. Depuis la première expérience à bord du satellite HEOS en 1968, les améliorations ont été incessantes; un rendement global très élevé a été obtenu, la conception des circuits utilisateurs a été simplifiée et les risques d'interférences ont été éliminés. Deux formules de régulation, initialement brevetées par l'Agence, sont maintenant largement appliquées dans le monde entier, aussi bien pour les systèmes d'alimentation dans l'espace que pour ceux qui sont basés au sol. Un autre progrès important fut réalisé en 1977 avec la mise au point d'un système de distribution de courant alternatif à haute fréquence permettant de produire un grand nombre de tensions à des niveaux de puissance allant jusqu'à 2 kW, sans avoir recours à des méthodes laborieuses.

La conception des régulateurs modulaires est continuellement améliorée par de nouvelles formules de construction brevetées, par le groupage très dense de films épais, innovation remontant déjà à 1975, et par l'introduction incessante de nouveaux composants tels que les transistors à effet de champ.

L'ESA a consacré au cours des dix dernières années un gros effort technologique à la mise au point d'alimentations haute tension. A partir de 1976, avec l'alimentation des tubes à ondes progressives de 20 W destinés à CTS et OTS, la famille 'haute tension' s'est développée rapidement vers les grandes puissances (230 W) et les très hautes tensions (40 000 V pour le Télescope spatial).

La recherche technologique ne s'est pas limitée aux systèmes embarqués; elle a également conduit à une percée importante dans le secteur du matériel d'essais au sol avec la mise au point d'un système modulaire réutilisable, et a débouché d'autre part sur une norme de compatibilité électromagnétique largement utilisée.

Enfin, les progrès qui ont été réalisés dans ce domaine ont été présentés dans des séminaires organisés périodiquement par l'Agence: jusqu'à présent, il y en a eu quatre.

BATTERIES

Dès 1972, après avoir envoyé dans l'espace quatre satellites munis de batteries américaines, l'Europe trouva un fournisseur qualifié de batteries nickel-cadmium pour l'espace. Le programme technologique a été axé sur le perfectionnement de ces batteries grâce à la mise au point d'éléments rectangulaires légers, à

l'amélioration de la résistance aux vibrations et, récemment, à la création d'une nouvelle famille d'éléments de grande capacité.

Parallèlement, l'Agence lança en 1975 des travaux sur des batteries métal-hydrogène, assistant le CNES dans la mise au point d'une batterie longue durée nickel-hydrogène et entreprenant l'étude du couple argent-hydrogène, particulièrement léger. Après plusieurs années passées à optimiser les divers composants, un prototype de ce couple fut mis au point, à partir duquel des résultats d'essais très prometteurs ont été obtenus.

L'effort de recherche au niveau des éléments de batteries a été soutenu par un programme intensif portant sur les aspects mécaniques, thermiques et de qualification. Enfin, on a commencé à préparer le début des années quatre-vingt dix avec des études sur des couples dits 'de troisième génération', adaptés à des charges très importantes.

SYSTEMES DE COMMANDE D'ATTITUDE ET D'ORBITE

Tous les satellites de l'Agence ont nécessité sous une forme ou sous une autre des moyens d'orientation et de stabilisation pour remplir les missions qui leur avaient été assignées, et un grand nombre des premiers satellites satisfaisaient leurs exigences de commande d'attitude grâce à la rotation dont ils étaient animés, mettant à profit leur moment cinétique propre pour conserver leur stabilité et leur orientation à court terme.

Des jets de gaz froid ou des bobines génératrices de couple étaient utilisés pour manoeuvrer ces satellites stabilisés par rotation, et les mesures d'attitude étaient faites simplement à l'aide de simples détecteurs d'horizon terrestre ou d'albedo et de détecteurs d'aspect solaire. Une grande partie de la recherche technologique initiale portant sur les systèmes de commande d'attitude avait pour objet ces premiers satellites et visait essentiellement à procurer à l'Europe les connaissances et la haute compétence nécessaires à la conception et à la mise au point des composants ainsi qu'à la conception de techniques et de méthodes de vérification des performances et de détermination d'attitude.

Les exigences de plus en plus contraignantes des satellites ultérieurs de l'Agence ne pouvaient être satisfaites par une simple mise en rotation, et les exigences accrues en matière d'orientation et de stabilité, ainsi qu'une plus grande capacité de manoeuvre ne pouvaient être atteintes que par des systèmes de commande sur trois axes. Ces systèmes donnèrent naissance à une foule de problèmes nouveaux dans le domaine de la commande d'attitude et d'orbite, et des activités de recherche technologique furent amorcées pour explorer les conceptions relatives aux boucles de commande active de satellites stabilisés sur trois axes, au filtrage du bruit, aux systèmes gyroscopiques liés, aux techniques de modulation de poussée des jets de gaz et aux formules de stabilisation, par exemple double rotation, systèmes à moment angulaire polarisé et non polarisé. Les résultats de ces activités ont trouvé une application directe dans les choix techniques et les formules de conception des satellites stabilisés sur trois axes de l'Agence tels qu'OTS, ECS ou Exosat.

Les satellites stabilisés sur trois axes se caractérisent par une complexité de plus en plus grande: panneaux solaires et autres appendices (antennes) de grandes

dimensions, grandes quantités d'ergols liquides, performances et fonctions accrues de la commande d'attitude et d'orbite. Ces configurations de satellites ont suscité une recherche technologique portant sur les problèmes de souplesse des structures et d'interaction avec les systèmes de commande, de ballottement des liquides, et de commande numérique. Ce dernier secteur a été grandement influencé par l'avènement de la micro-électronique et par la souplesse qu'offrent les microprocesseurs dans la mise en oeuvre des systèmes de commande. Un programme de recherche technologique fut lancé au sujet des systèmes de commande numérique, de l'architecteure de systèmes de commande à microprocesseur et des configurations de logiciel. D'autres recherches furent faites et se poursuivent sur un 'Système modulaire de Commande d'attitude' (MACS) utilisant une électronique de commande centrale à microprocesseur et une artère de données standard avec interfaces standard (coupleurs de bus). L'objectif et l'avantage du MACS est de fournir un système standard pour la plupart des systèmes futurs de correction d'attitude et d'orbite en réalisant de nombreuses exigences propres à la mission par l'intermédiaire du logiciel. La formule a d'ores et déjà été choisie ou est envisagée pour certaines des missions prochaines de l'Agence, Hipparcos et Eureca par exemple.

Les satellites de télécommunications constituent une catégorie très spéciale de satellites géostationnaires, et dans le cadre du programme de soutien technologique des investigations détaillées sur la correction d'attitude et d'orbite ont été poursuivies en matière de conception des systèmes de commande et d'optimisation de leurs performances. Les résultats de ces études ont été utilisés dans le choix et la conception des satellites de télécommunications de l'Agence, et notamment de L-Sat (Olympus).

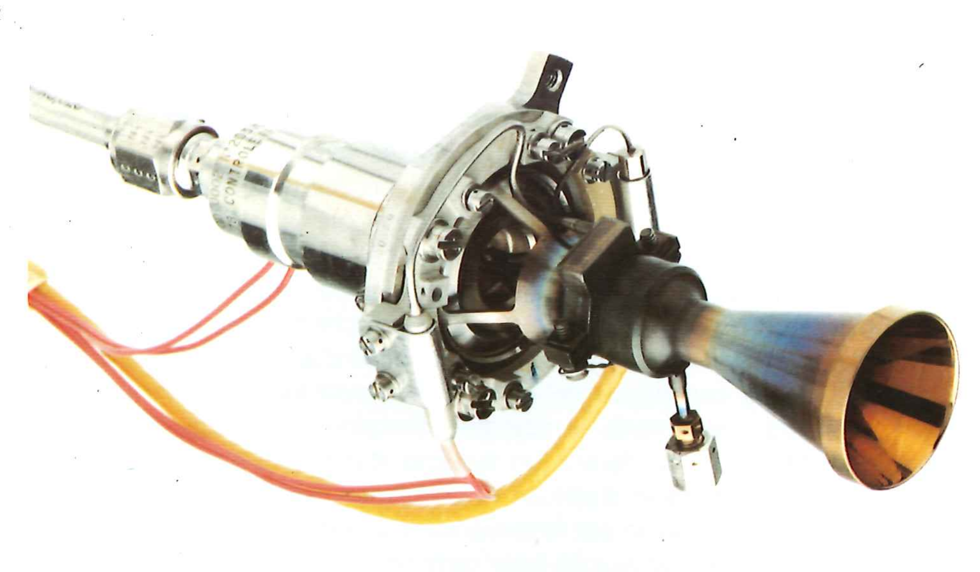
En prévision des schémas d'évolution future, des études avancées ont été entreprises sur les problèmes critiques posés par la commande d'attitude et d'orbite, à savoir rendez-vous & amarrage, commande de grandes structures spatiales, robotique et techniques d'automatisation évoluées. On s'attend à ce que les résultats de ces programmes de recherche technologique jouent un rôle important dans le choix des systèmes de commande destinés aux futures missions de l'Agence.

TECHNOLOGIE DE LA PROPULSION DES SATELLITES

Les satellites sont orientés (commande d'attitude) et positionnés (correction d'orbite) tout au long de leur durée de fonctionnement, par propulsion. Lorsque l'Agence est née, il y a vingt ans, la propulsion des satellites était une technologie nouvelle. Elle différait sensiblement de la base technologique établie pour les systèmes de propulsion par fusée destinés aux lanceurs militaires, en introduisant la nécessité d'une poussée très faible (de l'ordre de 0,1 N); d'un mode de fonctionnement par impulsions pour la commande d'attitude; d'un mode de fonctionnement continu pour les corrections d'orbite; de performances précises et reproductibles, jointes à un fonctionnement sûr et exempt de fuites. Ces exigences fondamentales demeurent inchangées.

Les performances demandées aux systèmes de propulsion des satellites ont augmenté de manière spectaculaire au cours des vingt années d'existence de

Propulseur à hydrazine de 14 N pour la commande d'attitude et d'orbite.



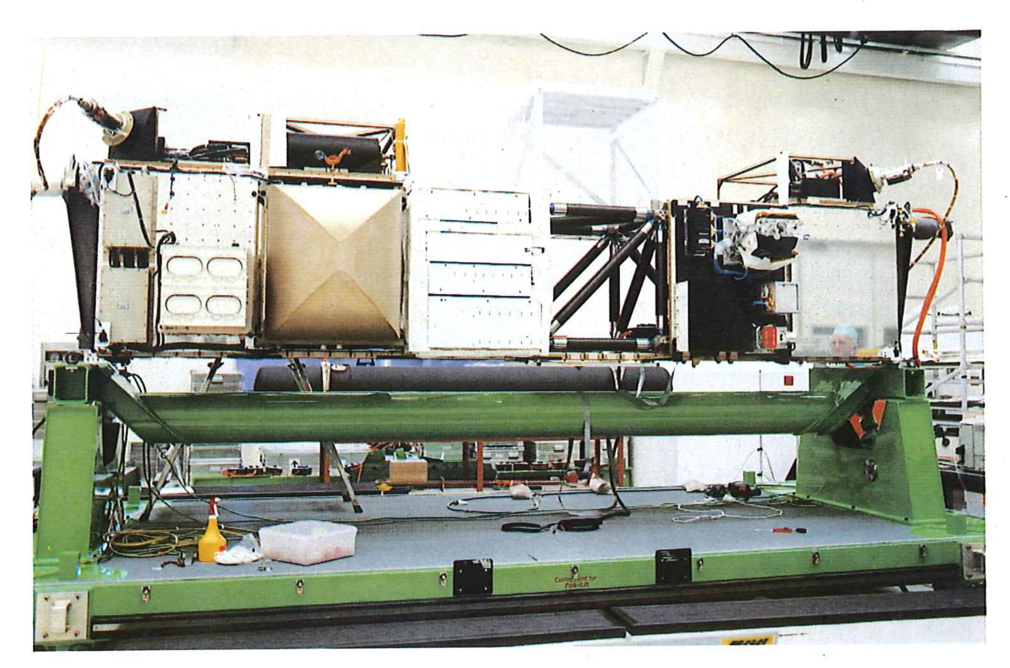
l'Agence. Pour s'en convaincre, il n'est que de comparer les exigences du premier satellite ESRO-2 de l'Agence avec celles de l'un de ses tout derniers satellites: Olympus. Cette comparaison apparaît ci-dessous.

Satellite	*Date de lancement*	*Durée de vie*	*Masse sèche du satellite*	*Masse d'ergols*	*Masse d'ergols en % de la masse sèche*	*Système propulsif*	*Ergols*
ESRO-2	17-05-68	1/2 année	75 kg	0,1 kg	0,13%	Gaz froid	Azote
Olympus	Début 86	7 ans	1250 kg	1170 kg	93,6%	Biergol stockable	Tétroxyde d'azote-monométhyl hydrazine

Programme de propulsion des satellites de l'ESA

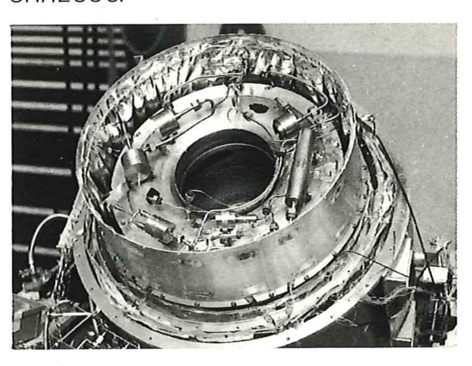
On voit qu'au cours de ces vingt années la durée de vie des satellites a été multipliée par 14; que la masse sèche des satellites a été multipliée par 16, et que le pourcentage de masse représenté par les ergols a été multiplié par 720. Le système à gaz froid qui était prévu pour la commande de la rotation du satellite scientifique ESRO-2 est devenu un système unifié complexe à deux ergols stockables pour la correction fine d'attitude et d'orbite du satellite de télécommunications Olympus.

Partie de ce simple système de propulsion à gaz froid en 1968, l'Agence a pris en charge la mise au point de systèmes de propulsion aussi bien chimique qu'électrique de plus en plus performants pour satisfaire les besoins de ses satellites. Dans le domaine de la propulsion chimique, des systèmes à gaz froid ont d'abord été mis au point, suivis par des systèmes à hydrazine monergol, par la technologie des moteurs à poudre, et enfin par les systèmes à deux ergols stockables. L'industrie européenne dispose maintenant d'une pleine et entière capacité dans toutes ces technologies. Dans le domaine de la propulsion

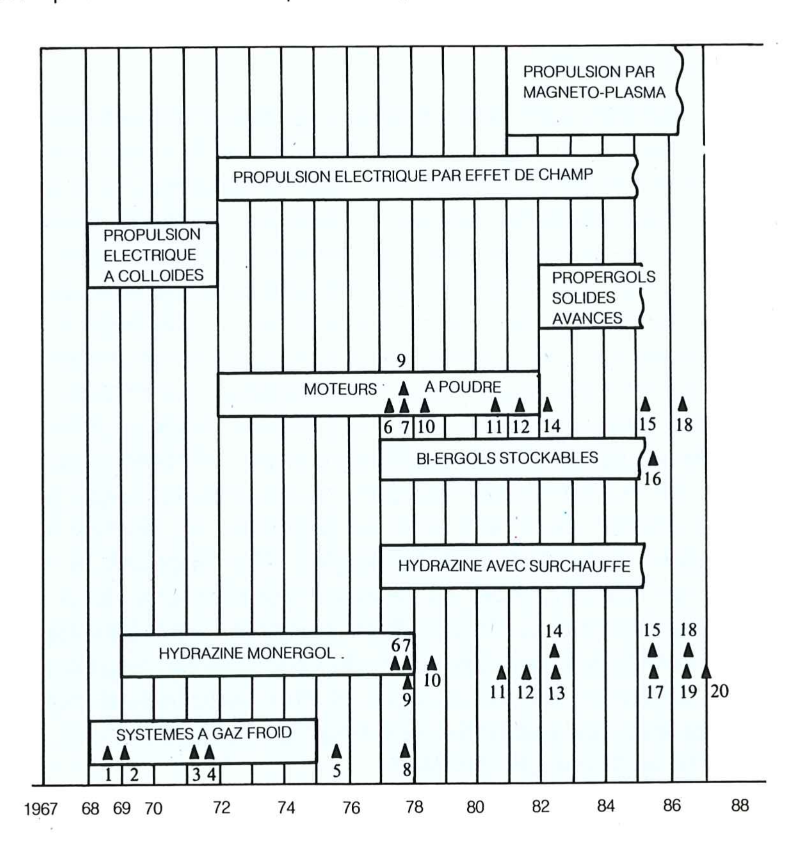


SPAS-01 pendant les dernières vérifications au Centre spatial Kennedy; on voit un peu à gauche du centre de la figure le matériel d'essais en vol de caloducs.

Vase Dewar à hélium superfluide CRHESUS.



électrique, les propulseurs à colloïdes ont été supplantés par la 'propulsion ionique à effet de champ', et la mise au point de la 'propulsion par magnéto-plasma' a été amorcée. L'élaboration progressive et coordonnée de toutes ces technologies et des satellites de l'Agence faisant appel à chaque type de propulsion peut le mieux être représentée sous forme de schéma.



Classification et évolution des technologies de propulsion.

Signification des nombres

No.	Satellite
1	ESRO-2
2	Heos A1
3	Heos A2
4	TD-1A
5	Cos-B
6	Geos-1
7	OTS-2
8	ISEE B
9	Météosat-1
10	Geos-2
11	Marecs-A
12	Météosat-2
13	Exosat
14	ECS-1
15	Giotto
16	Olympus
17	ISPM
18	Hipparcos
19	Eureca
20	ERS-1

Un pronostic des développements prévus pour les vingt prochaines années est le suivant:

- La propulsion électrique sera introduite pour réduire substantiellement la masse des systèmes propulsifs et permettre ainsi d'effectuer des missions nécessitant une grande dépense d'énergie.
- La mise au point de systèmes à bi-ergol stockable de poussée moyenne sera poursuivie en vue de son utilisation dans des modules et des étages de transfert interorbital aux multiples possibilités.
- L'hydrazine sera conservée comme monergol en vue de son utilisation rationnelle dans les systèmes de commande d'attitude, et la surchauffe sera utilisée pour améliorer encore leurs performances en vue de petites applications à la correction d'orbite.

REGULATION THERMIQUE DES SATELLITES

La majorité des sous-systèmes de satellites sont conçus pour fonctionner à l'intérieur d'une bande de température plus ou moins étroite autour de 20°C environ (la 'température ambiante'). Le but des sous-systèmes de régulation thermique est d'assurer le respect de ces conditions à bord du satellite. Cela s'obtient fondamentalement par équilibrage de l'énergie reçue du Soleil (et d'éventuels corps planétaires proches), et de celle qui est perdue par rayonnement dans l'espace. Le satellite type du début des années 1970 était petit, tournait sur lui-même et consommait peu d'énergie: ESRO-4, par exemple, pesait 115 kg et consommait 60 W environ. La technologie de régulation thermique requise se limitait essentiellement à l'emploi des revêtements résistants à l'action du milieu spatial (peintures, films métalliques, etc.) nécessaires pour obtenir les propriétés optiques voulues.

Depuis lors, les satellites sont devenus beaucoup plus grands et beaucoup plus gourmands en énergie, et l'exigence d'une durée de vie de plus en plus longue a abouti à un rétrécissement sévère de la plage de température acceptable, en particulier pour des éléments délicats tel que les batteries. Une régulation thermique active sous forme d'éléments électriques chauffants est maintenant une caractéristique banale, pour empêcher par exemple la congélation de l'hydrazine utilisée comme ergol dans le système de commande d'attitude. Des progrès importants ont également été nécessaires dans le domaine de la transmission de chaleur. Il est maintenant courant d'avoir des dissipations thermiques de plusieurs dizaines de watts dans une même unité. La nécessité d'évacuer efficacement la chaleur hors de ces points chauds potentiels a fourni l'impulsion nécessaire à la mise au point de la technologie européenne des caloducs, qui a atteint sa maturité il y a environ deux ans avec le lancement du premier radiateur à caloducs européen à bord du satellite Marecs. Des dispositifs à caloduc se trouvent dans un grand nombre de satellites d'applications de la génération actuelle, entre autres Olympus, TV-Sat, ERS-1, Unisat et Tele-X. Des dispositifs plus complexes, procurant des caractéristiques de conductance variable et de diode thermique, ont également été mis au point, et leurs performances dans l'espace ont été vérifiées lors des vols STS-7 et STS-11 de la Navette dans lesquels ils faisaient partie de la charge utile SPAS-01.

En plus de cette évolution générale, on conçoit actuellement des charges utiles qui ont des exigences très particulières, notamment pour l'astronomie en infrarouge, qui nécessite un refroidissement à des températures inférieures à 2 K (ex.: IRAS, ISO, GIRL et FIRST). Les dispositifs d'isolation et de maniement des liquides cryogéniques ont fait l'objet d'études technologiques considérables dans les récentes années, culminant avec la mise au point du prototype de vol du vase Dewar à hélium CRHESUS.

Le progrès technologique aboutira dans l'avenir à des systèmes plus évolués capables de faire face à des charges thermiques beaucoup plus importantes sur des satellites de plus grandes dimensions et de plus grande puissance. Sur le Spacelab, la transmission de la chaleur se fait par pompage d'un liquide. Les premiers pas ont été faits vers la mise au point de la prochaine génération de systèmes à deux phases qui permettront le transfert de quantités de chaleur encore plus grandes sur des trajets plus longs, dans la perspective des futures stations orbitales.

TECHNOLOGIE DES STRUCTURES DE SATELLITES

Les progrès européens de la technologie des structures peuvent être classés en trois catégories principales:

- réduction de la masse des structures
- utilisation sélective de matériaux composites à base de fibres
- maîtrise de l'intégrité des structures.

Le coût très élevé du lancement des satellites a conduit à essayer de réduire leur masse. Les progrès technologiques accomplis au cours des deux décennies écoulées ont permis de ramener la masse des structures de 20% à 7–10% de la masse totale du satellite. Pendant ce temps, on a franchi d'un seul coup une étape majeure dans l'évolution de la conception de base des structures, à savoir le passage de l'aluminium moulé d'ESRO-1 aux assemblages de panneaux en 'nid d'abeilles', qui ont été le trait commun de tous les satellites de l'Agence, de TD-1A



Antenne gonflable faite d'un matériau composite à base de fibres de kevlar.



Antenne disque en fibre de carbone pour ISPM (2 m de diamètre).

à Giotto. On a réussi à diminuer dans une mesure importante le pourcentage représenté par la masse structurelle en affinant les techniques analytiques, ce qui a abouti à une définition plus précise des charges de calcul, et par conséquent à une conception des satellites en fonction des charges dynamiques plutôt que des charges statiques. Des essais de recherche de modes propres ont été introduits, et avec l'augmentation du nombre de lancements on a acquis une connaissance plus précise des efforts acoustiques et de vibration imposés par le lanceur, et on sait mieux les simuler.

C'est dans la structure des divers appendices que les progrès sont les plus évidents. Des améliorations importantes ont été apportées par utilisation sélective de matériaux à base de fibres composites améliorés. Ces matériaux, composés de fibres très fines en verre, en carbone ou en aramide noyées dans une résine, offrent une grande stabilité dimensionnelle et sont souvent plus rigides, plus résistants et meilleur marché que les alliages métalliques. Leurs propriétés peuvent également être ajustées aux exigences d'applications très spécifiques. Des matériaux composites sont maintenant fréquemment utilisés pour les antennes et les bancs optiques pour télescopes spatiaux. Ils sont en cours de mise au point pour les parties principales porteuses de charges des structures de satellites, mais ils ne sont pas susceptibles d'être adoptés pour des satellites de la catégorie inférieure à 2,5 tonnes.

L'avènement de la Navette spatiale a obligé à mettre au point des structures qui soient réutilisables après de nombreux lancements. Cela, joint aux plus grandes exigences de sécurité des lancements habités, a suscité un nouvel effort technologique en vue de prévoir et de maîtriser l'intégrité (comportement en cas de défaillance) des matériaux sous l'effet de sollicitations mécaniques répétées sur de longues périodes. L'intégrité des structures est désormais suffisamment maîtrisée pour que des critères d'aptitude au vol puissent être formellement définis et mis en oeuvre, comme cela a été fait pour le Télescope spatial, pour Spacelab et pour diverses charges utiles expérimentales lancées par la Navette.

Les travaux futurs continueront à exploiter les voies de recherche suivies jusqu'à ce jour, en particulier pour obtenir des structures plus légères et plus résistantes destinées à des satellites de plus en plus grands.

MECANISMES

La croissance rapide, en nombre et en complexité, des mécanismes spatiaux, constitue un bon exemple des besoins urgents de mise au point technologique émanant des projets.

Les premiers satellites de l'ESRO n'étaient équipés que d'actionneurs mécaniques simples, tels que des dispositifs à ressort pour la libération des mâts et des systèmes de largage de couvercles protecteurs. Dans les années soixante-dix, la demande existante conduisit à la création rapide de divers types de volants d'inertie, de mâts télescopiques et de câbles relativement complexes, et autres accessoires destinés aux charges utiles. Le choix de la stabilisation sur trois axes pour OTS et pour la famille suivante de satellites de télécommunications conduisit à la mise au point fort importante de mécanismes d'entraînement de panneaux solaires, lesquels ont été continuellement améliorés depuis lors.

Une autre contribution essentielle aux missions de télécommunications a été la mise au point d'une famille de systèmes précis de pointage d'antenne, dont la plupart sont basés sur des modèles brevetés par l'Agence.

Une contribution similaire est venue de plusieurs améliorations majeures apportées à la conception des suspensions magnétiques pour générateurs de couple à inertie, la démonstration de cette suspension étant faite sur des volants et des roues de réaction.

Les dernières années ont vu la préparation de missions futures dans un certain nombre de secteurs nouveaux: déploiement et escamotage de grands panneaux solaires (jusqu'à 30 m d'envergure) et d'antennes, mise au point de systèmes d'amarrage, enfin définition de manipulateurs télécommandés. Cette activité se double d'un effort important au niveau des composants, afin de trouver des fournisseurs européens pour une large gamme d'éléments pyrotechniques, de moteur électriques et de capteurs, etc...

Pour couronner le tout, plus de dix années d'activité dans le domaine de la tribologie à l'ESTL ont permis à l'Agence d'acquérir une expérience inestimable en matière d'essais, ainsi que des techniques de fabrication essentielles telles que le procédé utilisé pour les paliers au plomb.

Soutien mathématique

Le soutien mathématique a été une activité de l'organisation dès la création de l'ESRO il y a vingt ans. Bien que l'histoire des mathématiques se compte en siècles, alors que celle des activités spatiales se compte en années, les deux dernières décennies ont vu une évolution importante des mathématiques appliquées sous l'effet des exigences croissantes engendrées par la technologie spatiale moderne et par le développement phénoménal du matériel et du logiciel informatiques.

L'ESRO commença il y a vingt ans avec des ordinateurs analogiques équipés de tubes à vide, et avec la première génération d'ordinateurs numériques. Les deux sortes d'ordinateurs furent utilisées pour la simulation et l'analyte des premiers satellites, ESRO-2 et ESRO-1. Toutes deux furent détruites dans l'incendie des bâtiments préfabriqués de l'ESTEC en 1966, et bien que cela ait provoqué une certaine désorganisation, ce fut en même temps le point de départ d'une évolution continue des moyens de simulation mathématique de l'ESTEC, qui se poursuit encore aujourd'hui. Les premières années furent dominées par la simulation des systèmes de commande, en particulier pour la commande d'attitude du premier satellite stabilisé sur trois axes de l'Agence, TD-1A.

A cette époque, toutes les simulations étaient effectuées sur des calculateurs hybrides (combinant techniques analogiques et numériques), qui étaient indispensables pour simuler certains types de situations à une époque où les techniques numériques n'étaient pas aussi développées qu'aujourd'hui. Le calculateur hybride avait de bonnes performances, permettait un bon dialogue homme-machine et était très fiable (la partie analogique est encore en état de marche aujourd'hui). Mais à longue échéance il ne pouvait rivaliser avec les techniques purement numériques, et la puissance croissante des ordinateurs numériques ainsi que leur prix décroissant finirent par emporter la décision, si bien

qu'aujourd'hui les simulations pour Giotto sont effectuées sur un ordinateur rapide spécialisé.

Une autre évolution caractéristique des mathématiques appliquées commença dans les premiers jours de Geos. Ce fut le premier satellite à appendices flexibles, et il ouvrit la voie à un nouveau secteur de recherche & développement qui n'a cessé de prendre de l'importance: la modélisation de ce que l'on appelle les 'satellites souples', c'est-à-dire munis d'appendices flexibles (poutres, câbles, panneaux solaires, antennes), dont le comportement dynamique a une influence marquée sur la dynamique d'attitude du satellite. Des méthodes analytiques et numériques durent être mises au point pour prévoir le comportement dynamique de tels satellites en orbite, les essais au sol étant pratiquement exclus en raison de la pesanteur. La vérification de tels modèles mathématiques n'est possible qu'en testant le comportement dynamique du satellite une fois qu'il se trouve sur orbite. Un essai de ce genre eut lieu à la fin des années soixante-dix sur le satellite Geos. Il était prévu par le calcul qu'une certaine manoeuvre orbitale prévue conduirait à une instabilité dynamique du satellite (perte de sa stabilité d'attitude). Une manoeuvre réduite de ce type fut exécutée et le comportement du satellite fut mesuré, montrant qu'il se comportait comme le voulait la théorie.

Encore un autre secteur de recherche & développement mathématique apparut au milieu des années soixante-dix: une propreté magnétique en courant continu de plus en plus grande devait être atteinte pour les satellites futurs afin de ne pas perturber la mesure de petits champs magnétiques à l'intérieur ou à l'extérieur de la magnétosphère terrestre. On s'aperçut qu'une modélisation mathématique de l'état magnétique d'un satellite au moyen d'un système de dipôles pourrait puissamment aider aux mesures magnétiques des satellites. Avec le temps, ces méthodes furent portées à un haut degré de perfection et sont aujourd'hui d'usage courant dans les essais magnétiques des satellites.

Au cours des deux dernières décennies, le soutien mathématique a fait de plus en plus appel aux ordinateurs, et la compétence ainsi acquise a ouvert un nouveau champ d'activité dans l'élaboration des systèmes informatiques. Le logiciel embarqué des expériences scientifiques commandées par microprocesseur et le logiciel utilisé dans le matériel d'essais pour des mesures de charge utile en orbite sur toute la famille des satellites de télécommunications OTS, Marecs et ECS n'en sont que quelques exemples.

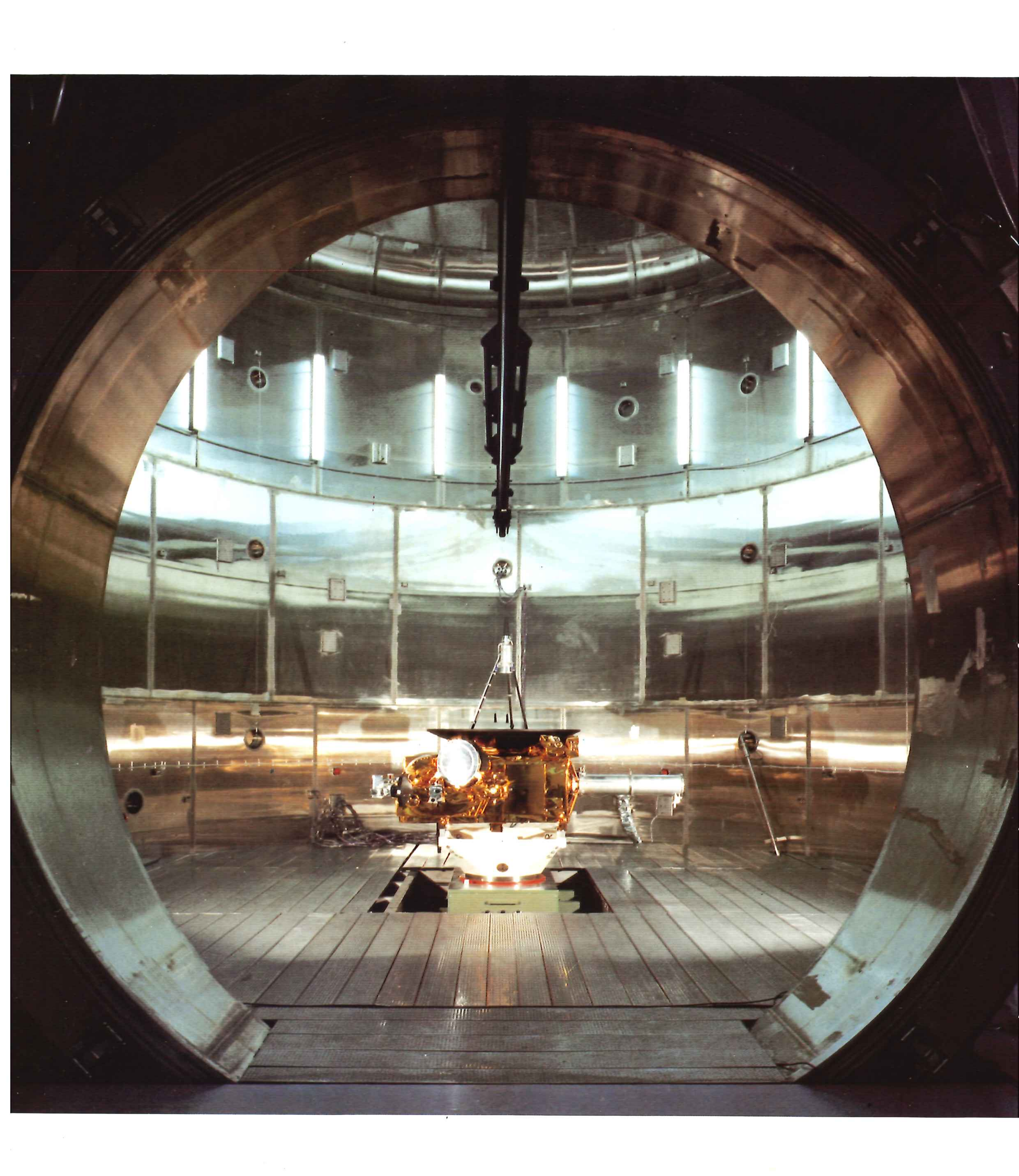
S'apparentent à cette activité la participation à des expériences de transmission de données à grande cadence par satellites, et des démonstrations de diffusion de données par satellite lors de conférences comme Unispace'82 et Télécom'83.

Au cours des dix dernières années, ces activités de soutien ont été renforcées par un programme de recherche sur le logiciel. Visant initialement à améliorer les outils disponibles pour des simulations spécifiques, ce programme a basculé au fil des années vers l'étude de diverses techniques appropriées à la simulation de systèmes dynamiques continus et discontinus de nature plus générale. Ces programmes de recherche ont abouti à la production de logiciels qui ont été mis en place chez plusieurs contractants pour être utilisés dans le cadre du programme de l'Agence. Poussée par la taille et la complexité croissantes des

projets de logiciel, la recherche s'est mise à se concentrer sur le processus même d'élaboration du logiciel, et sur sa gestion; cette discipline est aujourd'hui généralement appelée 'génie logiciel'.

Jeter un regard en arrière sur les réalisations du passé fournit également une bonne occasion de projeter une lumière globale sur l'avenir. Notre environnement est changeant, chacun se familiarise avec les ordinateurs, grands ou petits, et les utilise sous une forme ou une autre. Il existe de nos jours une compréhension bien meilleure des ordinatuers, et du logiciel, par les ingénieurs et les techniciens de toutes disciplines. Cela ne signifie pas pour autant que l'on demande moins à une équipe de spécialistes en génie logiciel et en applications informatiques; au contraire, les ordinateurs trouvent de plus en plus d'applications, d'une complexité et d'un raffinement croissants. L'ESA, en tant qu'organisation de haute technicité, doit impérativement rester prête dans ce domaine, et dans la décennie à venir notre programme de recherche et notre soutien quotidien à des projets nous maintiendront au coeur des techniques et des méthodes de pointe qui seront cruciales pour le succès du programme spatial européen.

7



Infrastructure

Au cours de son existence, un satellite est exposé à une grande variété de conditions d'ambiance parfois sévères. Cela commence avec la manutention au sol lors de la fabrication et du transport, puis se poursuit pendant la phase de lancement avec les fortes vibrations que cela comporte, et se termine finalement dans les conditions de vide, de température et de rayonnement du milieu spatial. Le degré de fiabilité imposé étant extrêmement élevé, les satellites doivent être essayés au niveau système (c'est-à-dire après intégration totale) dans des conditions aussi proches que possible de la réalité. Les installations d'essai requises sont par conséquent volumineuses et complexes, donc très coûteuses, aussi bien sur le plan des investissements que sur celui des frais d'exploitation.

* * *

Il a fallu du temps avant de reconnaître la nécessité d'une infrastructure au sol pour la vérification systématique des caractéristiques électriques et électroniques des satellites et de leurs éléments constitutifs. Au cours des deux dernières décennies on est devenu pleinement conscient de l'importance que revêt une telle vérification. Ainsi, le matériel et les méthodes d'essais n'ont cessé d'évoluer pour faire face au perfectionnement rapide des satellites et de leurs charges utiles. En même temps, les rapports de l'Agence avec l'industrie dans ce domaine ont connu une transformation radicale; l'heure n'est plus où l'Agence se chargeait elle-même du soin de fournir l'infrastructure sol requise, mais l'expérience accumulée et l'effort de normalisation entrepris en Europe depuis une vingtaine d'années montrent clairement la route à suivre en la matière.

Le satellite ISPM dans la Chambre d'essais dynamiques de l'ESTEC.

Les essais d'ambiance

LE PASSE

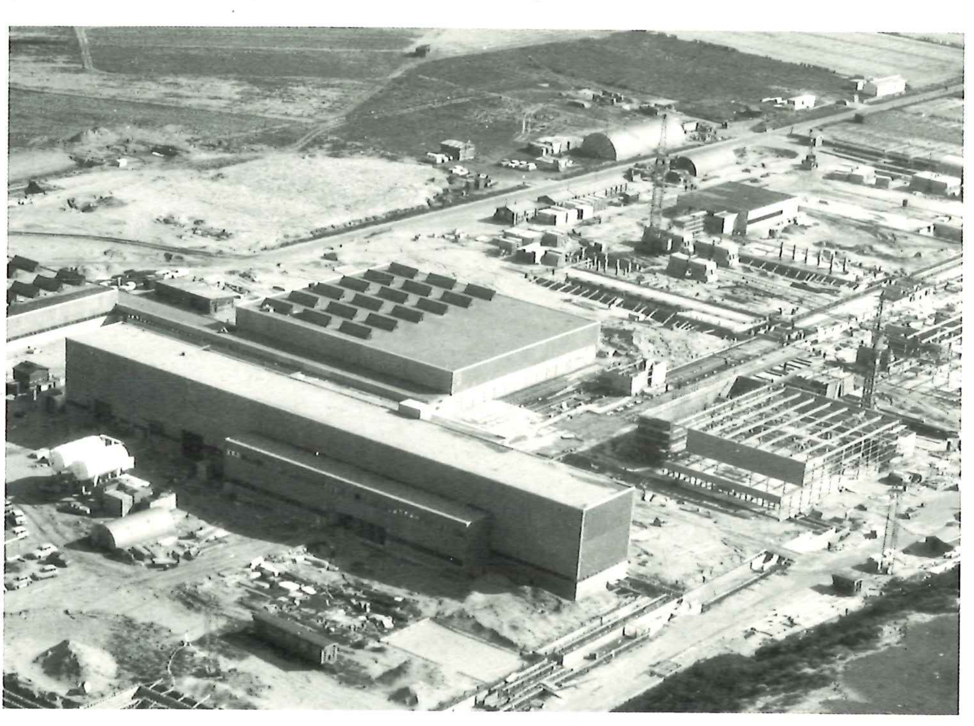
Lorsque l'ESRO commença ses activités il y a 20 ans, il était évident que cette nouvelle organisation devrait fournir un certain nombre d'installations d'essai d'ambiance et les tenir à la disposition de l'industrie spatiale européenne. Les satellites étaient petits, et leur transport et leur manutention ne posaient aucun problème. Cela était encore plus vrai pour les charges utiles de fusées-sondes qui, à cette époque, faisaient partie du programme de l'ESRO. Dans les années qui suivirent, on comprit qu'on avait besoin d'un centre d'essai, et en 1968 un bâtiment fut érigé sur le site de l'ESTEC à Noordwijk, dans lequel purent être logées les installations d'essai suivantes:

- les installations de simulation solaire HBF-2 et HBF-3;
- les installations de cyclage thermique vous vide VTC-A et VTC-B;
- la chambre à effet 'corona';
- des petites installations de cyclage thermique sous vide pour les essais en boîtiers;
- une petite centrifugeuse;
- des vibrateurs électrodynamiques d'une force allant de 15 à 140 kN.

Ultérieurement, en 1970, un petite installation acoustique fut ajoutée.

Toutes ces installations permettaient ensemble de simuler avec un réalisme raisonnable les deux principales ambiances – lancement et séjour dans l'espace. On disposait ainsi d'un outil permettant de vérifier si la charge utile du satellite ou de la fusée-sonde survivrait pour mener à bien sa mission.

Dans l'intervalle, les charges utiles, surtout celles des satellites, devenaient de plus en plus sophistiquées, et il devint essentiel de disposer d'installations qui permettraient de tester l'ensemble des séquences de fonctionnement de ces



Vue aérienne de l'ESTEC au début de sa construction en 1966.





Une charge utile de fusée-sonde pendant les essais de vibrations à l'ESTEC en 1968.

L'installation d'équilibrage thermique HBF 2 & 3 de l'ESTEC en 1968.

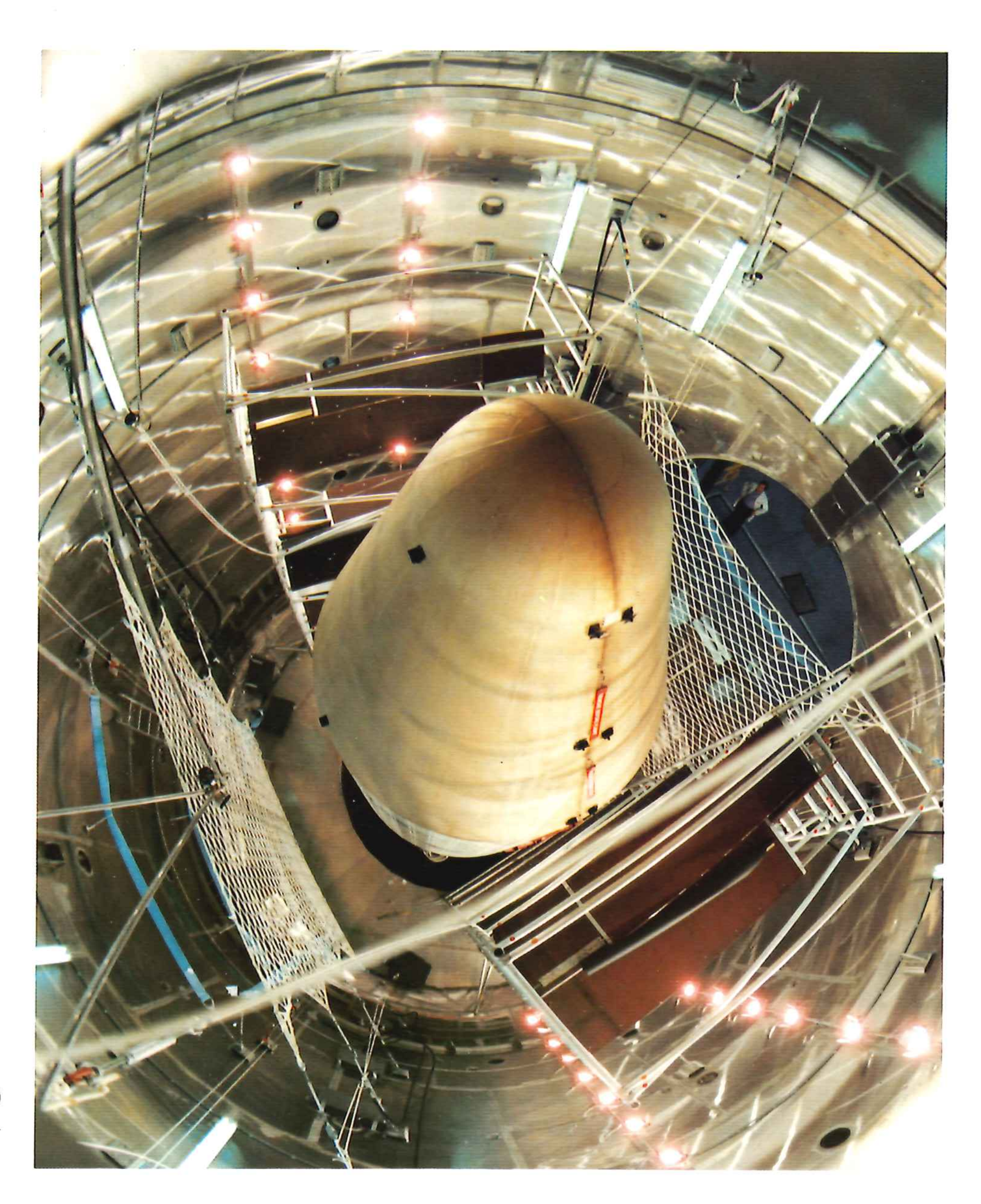
charges utiles, et de déterminer avec exactitude les caractéristiques des satellites. Par conséquent, dans les années 1970–75, un grand nombre d'installations nouvelles furent installées. Les principales étaient:

- une installation permettant la mesure des moments magnétiques en champ continu d'un satellite dans une enceinte à compensation de zéro (MTF 1);
- une installation permettant la démagnétisation des satellites (MTF 2);
- une installation permettant de mesurer les champs magnétiques émis en courant alternatif des sous-systèmes dans une chambre à blindage magnétique (MUTC);
- une chambre de compatibilité électromagnétique (EMC) permettant d'effectuer des mesures d'émission et de sensibilité aux émissions radiofréquence sur des satellites et des sous-systèmes;
- des machines de mesures physiques, à savoir des ponts-bascules, des machines de détermination du centre de gravité, des machines de détermination du moment d'inertie, et une machine gyroscopique;
- une très grande chambre d'essais dynamiques (DTC) à vide, de 10 m de diamètre et de 15 m de haut, prévue à l'origine uniquement pour des essais mécaniques, mais modifiée ultérieurement pour permettre également des essais thermiques.

Au cours des années, il y eut une demande croissante, de la part de la communauté des utilisateurs, pour une amélioration des conditions d'essai et pour une extension des capacités d'acquisition et de traitement des données, ainsi que pour rendre les installations plus sophistiquées. Le fonctionnement des installations d'essai dut être simplifié et leur fiabilité améliorée en raison du manque de main d'oeuvre. Cela conduisit à un certain nombre de modificaitons ou de substitutions qui commencèrent dès le début des années 70 et qui se poursuivent encore à l'heure actuelle.

Des exemples types sont: l'installation d'un dispositif de pompage sous vide poussé et sans huile sur les principales chambres à vide, le remplacement et la modernisation des dispositifs de traitement des données thermiques et de vibrations, et le remplacement du vibrateur de 70 kW.

En 1972, le programme de fusées-sondes fut suspendu et les installations d'essais qui avaient été utilisées pour les charges utiles de fusées-sondes et pour les satellites durent être réaménagées en fonction des seuls satellites. Mais ces derniers devenaient de plus en plus gros au cours des ans. En outre, leur sophistication s'accrut considérablement. Par ailleurs, un nombre croissant de satellites furent construits par des agences nationales, et des centres d'essai nationaux furent créés. Les programmes de l'Agence augmentèrent également et,



Essai de largage de la coiffe (9 m de long) du lanceur Ariane dans la grande enceinte à vide de l'ESTEC (mai-juin 1977).

en raison des limitations de ses propres installations, l'Agence commença à faire usage des centres d'essai nationaux.

En 1978, les activités des trois principaux centres d'essai européens – ESA/ESTEC; CNES/Sopemea (aujourd'hui CNES/Intespace, à Toulouse, France) et IABG (à Ottobrunn, Allemagne) – furent coordonnées avec celles de l'IAL, centre spécialisé dans l'étalonnage optique (à Liège, Belgique).

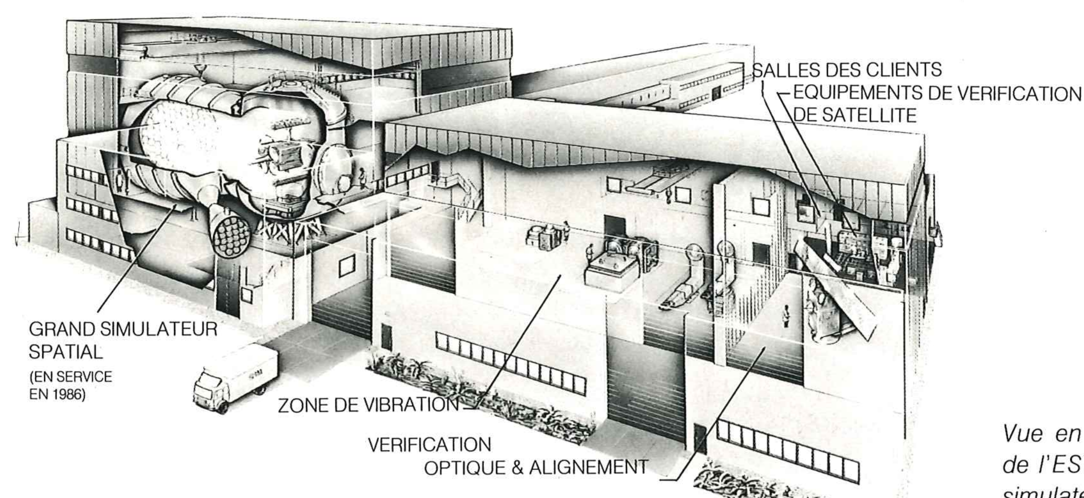
A partir de cette date, l'ESA partagea les frais d'exploitation des trois centres nationaux, et en retour elle se vit accorder un accès prioritaire aux installations. En même temps, on comprit qu'on avait besoin de méthodes d'essai normalisées et d'une approche coordonnée des investissements nouveaux. Un certain nombre d'installations furent fermées pour éviter une surcapacité, d'autres agrandies, et de nouvelles installations construites. Il faut noter que les installations coordonnées étaient à cette époque généralement complémentaires.

LA NOUVELLE GENERATION DE SATELLITES

Avec l'avènement de gros satellites faisant usage des capacités de lancement des fusées Ariane 3/4 et de la 'Navette', il devint bientôt évident que les installations existantes en Europe seraient, en général, insuffisantes pour les essais au niveau système. De nouveaux moyens devaient être trouvés.

Les méthodes d'essai

En 1978, le problème posé par une politique d'essai appropriée pour la nouvelle génération de satellites fut sérieusement étudiée au niveau européen. La conclusion principale fut que l'essai au niveau des systèmes devait être maintenu. Une recherche intensive pour de nouvelles méthodes d'essai fut entreprise dans les principaux domaines des essais d'ambiance: équilibre thermique/vide thermique, et vibrations/acoustique. Du côté des essais thermiques, la méthode d'essai aux infrarouges fut mise au point. Cette méthode convient très bien non seulement pour n'importe quel genre d'essai de vide thermique, mais aussi pour



Vue en coupe des installations d'essais de l'ESTEC après achèvement du grand simulateur solaire.



Travaux d'extension des installations d'essai.

des essais d'équilibrage thermique de satellites de forme plus simple, par ex. les satellites de télécommunications, en remplacement de la simulation solaire. Comme l'a montré l'expérience américaine, elle peut être utilisée le plus efficacement en association avec des essais de simulation solaire sur des sous-systèmes, des antennes par exemple.

Néanmoins, il existe encore un certain nombre d'essais qui nécessitent une simulation solaire à une très grande échelle. Afin de maintenir l'indépendence totale de l'Europe dans cette forme d'essais, la DTC sera transformée en une grande installation de simulation solaire tout en conservant sa capacité actuelle d'essais mécaniques et aux infrarouges. Les caractéristiques principales du nouveau simulateur solaire à configuration excentrée seront:

- faisceau solaire: 6 m de diamètre
- volume d'essai: 7 m de diamètre
- intensité max.: 1,65 $kW/m^2 \times 1{,}2$ constante solaire, avec uniformité $\pm 5\%$
- faisceau parallèle, angle de collimation 2°
- simulateur de mouvement pour une capacité de 5000 kg.

La nouvelle installation sera la plus grande en son genre dans le monde. Sa réalisation a commencé au début de 1983 et sera terminée d'ici à la mi-1986.

Les besoins en essais de vibrations ont conduit à la mise en place d'un double dispositif vibrateur qui fut installé au cours de l'année 1983. Il se compose de deux vibrateurs électrodynamiques de 140 kN qui peuvent travailler indépendamment ou en combinaison soit dans une direction verticale sur une grande table guidée de 2 m de diamètre, soit dans une direction horizontale sur un plateau vibrant de 2 m × 2 m. La capacité de masse de charge utile sera de 2500 kg, très en-dessous de la capacité d'emport d'Ariane 4, qui est de 4300 kg. Pour faire face à ces charges utiles plus lourdes, une méthode entièrement nouvelle, basée sur la technologie des vibrateurs hydrauliques, a été explorée. Elle fera partie d'un investissement futur éventuel.

Il est clair que pour accueillir la nouvelle génération de satellites, il faudra disposer de beaucoup plus de place pour recevoir les nouvelles installations d'essai, d'intégration et de contrôle. En 1979 déjà, un nouveau bâtiment (le bâtiment 26) a été préparé pour loger les nouveaux vibrateurs de 70 kN et 140 kN et pour fournir une zone de préparation supplémentaire pour les essais dans la DTC. Ce bâtiment, qui a été prolongé de 35 m, fut achevé à la fin de 1983. Il loge le nouveau dispositif secoueur jumelé, quelques grandes machines de mesure physique et il comporte une zone d'intégration ayant une norme de propreté élevée (Classe 10.000).

Les centres d'essai nationaux

Les centres d'essai nationaux ont également augmenté leurs capacités au cours des dernières années; on a tenu le même raisonnement que pour l'ESTEC. La situation actuelle peut être résumée comme suit:

Le CNES a commencé à établir ses installations au début des années 70, et il exploite actuellement un grand dispositif secoueur de 170 kN. Il y a en outre une grande chambre EMC, une installation magnétique, des machines de mesures physiques et des chambres à vide de tailles différentes. La plus importante est la

chambre de simulation solaire Simles avec son faisceau solaire de 3 m de diamètre. C'est à l'heure actuelle l'installation la plus importante de ce genre en Europe. Au cours des dernières années, elle a été largement utilisée pour les programmes de l'Agence.

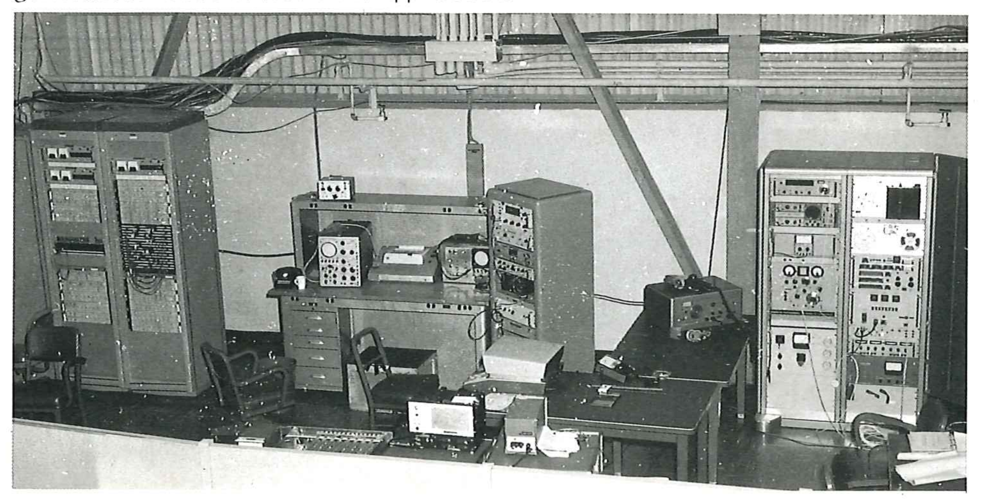
Le CNES est en train de construire une grande salle de préparation et d'intégration qui sera intégrée au complexe d'essais. Une grande chambre acoustique de 1200 m² est en préparation et conviendra pour des satellites du type Ariane 4. Les essais de recette ont commencé au début de 1984.

L'IABG a commencé ses activités spatiales en 1986. D'importantes installations d'essai ont été construites au cours des années, parmi lesquelles figurent en première place la grande installation de simulation solaire avec un faisceau de 3,5 m de diamètre, qui peut être agrandie et améliorée; un simulateur de mouvement d'une capacité de charge de 2500 kg: cet équipement, très moderne, sera utilisé pour les satellites de type Ariane 3 et 4, par exemple pour le TV-Sat allemand; il est opérationnel depuis fin 1983.

Par ailleurs, le centre exploite un dispositif de vibration de 160 kN, une grande installation acoustique de 800 m³ qui a été largement utilisée dans le passé pour les programmes de l'ESA, une grande installation magnétique et une chambre EMC. Dans le proche avenir, ce centre sera équipé d'un dispositif multivibrateur de 320 kN se composant de quatre vibrateurs de 80 kN travaillant simultanément. Il conviendra pour des charges utiles pesant jusqu'à 2500 kg avec une dimension d'interface de 3 m × 3 m. Ce dispositif sera installé dans une zone d'essai et d'intégration agrandie.

Activités de vérification des satellites

Le rôle de l'ESA vis-à-vis de l'industrie dans les essais électriques des satellites est passé par des changements progressifs et spectaculaires au cours des vingt dernières années. Ces changements d'organisation se sont accompagnés de grands progrès dans la technologie et d'une évolution correspondante des méthodes d'exploitation et de travail. Les principaux pas en avant sur les plans politique et technique ont été associés à de nouveaux programmes et peuvent généralement être divisés en cinq périodes.



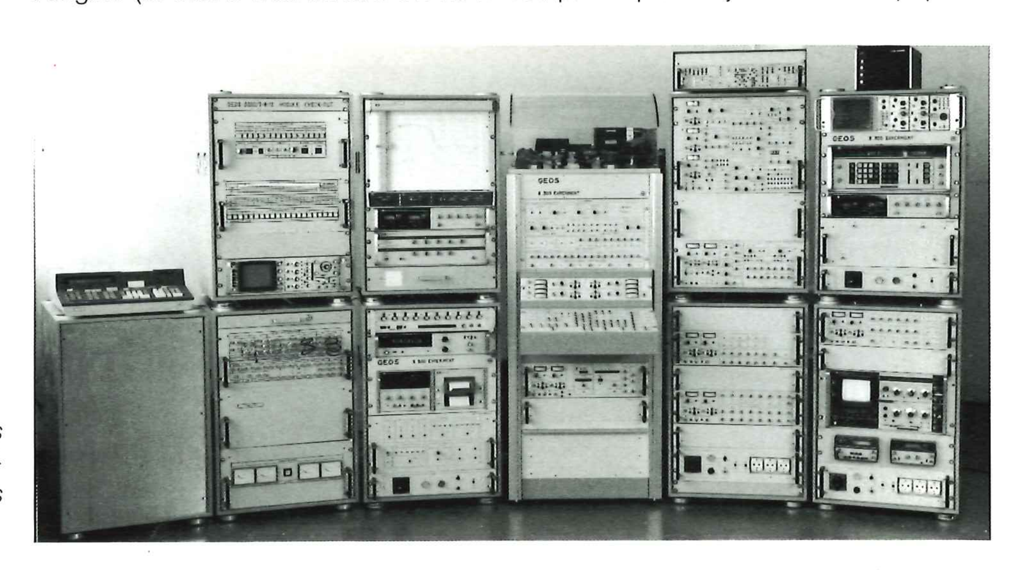
Equipement de vérification utilisé pour le satellite ESRO-2 en 1968.

1ère période: 1964–68

Cette période engloba l'ère ESRO-1, ESRO-2 et HEOS-A1. Les ingénieurs étaient à ce point plongés dans les problèmes technologiques posés par les systèmes embarqués au cours de la mise au point d'ESRO-1 et 2, que la nécessité d'une infrastructure électrique sol (EGSE) pour essayer les satellites et leurs sous-ensembles fut complètement oubliée. Ce fut donc l'ESA (et non le constructeur de satellites) qui entreprit un exercise en catastrophe pour définir et fournir 'l'équipement de vérification d'ensemble' (OCOE) destiné aux essais de satellite, ainsi que les ensembles d'essai de traitement des données pour tester le décodeur de télécommande et le codeur de télémesure. Les OCOE furent fournis par une société américaine et comprenaient un ordinateur Honeywell 116 avec une mémoire de 4 K; les installations furent limitées à l'impression des données de télémesure sous forme brute sans aucun traitement. Heureusement, les débits de télémesure d'ESRO-1 et 2 étaient très faibles, de l'ordre de 100 b/s, mais même ainsi il était pratiquement impossible aux opérateurs de décoder et d'évaluer les données au fur et à mesure de leur sortie du dispositif de contrôle, 'hypnotisant' les opérateurs à un point tel qu'il leur était devenu quasiment impossible de déceler les erreurs éventuelles au moment de leur apparition. Cependant, à la fin de cette période, les ingénieurs de l'ESA avaient notablement amélioré le système d'origine.

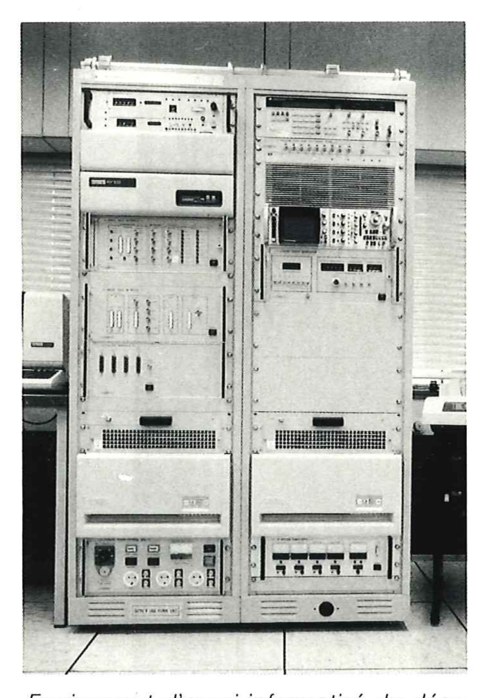
Le matériel d'essai du décodeur de télécommande (TCTE) et le matériel d'essai de télémesure (TMTE) furent produits en Europe et se montrèrent très performants depuis le début, bien que ce dernier ne fût produit qu'en quatre mois. Il y a lieu de noter que ces premiers satellites de l'ESA firent oeuvre de pionniers en ce sens qu'ils furent les premiers à utiliser la télémesure de modulation par impulsions codées (PCM). Avec 32 télécommandes, utilisant le système numérique de tonalité de la NASA, ils étaient également très sophistiqués pour leur époque.

La première expérience de 'prise en main' fit bien comprendre aux ingénieurs de l'ESA l'importance et les exigences fondamentales du matériel de contrôle, et également la nécessité d'une planification précoce. On ne se rendit pas compte à l'origine (et même maintenant on ne le comprend pas toujours très bien) que le



Cet équipement d'essai destiné à Geos traduit la complexité croissante des exigences en matière de vérification des satellites.

système de contrôle devait être plus compliqué que le système embarqué pour permettre de contrôler et vérifier les diverses configurations embarquées. Par ailleurs, des systèmes embarqués durent être conçus spécialement en prenant sérieusement en compte les essais et les opérations en orbite.



Equipement d'essai informatisé du décodeur de télécommande (TCTE).

2ème période: 1968–72

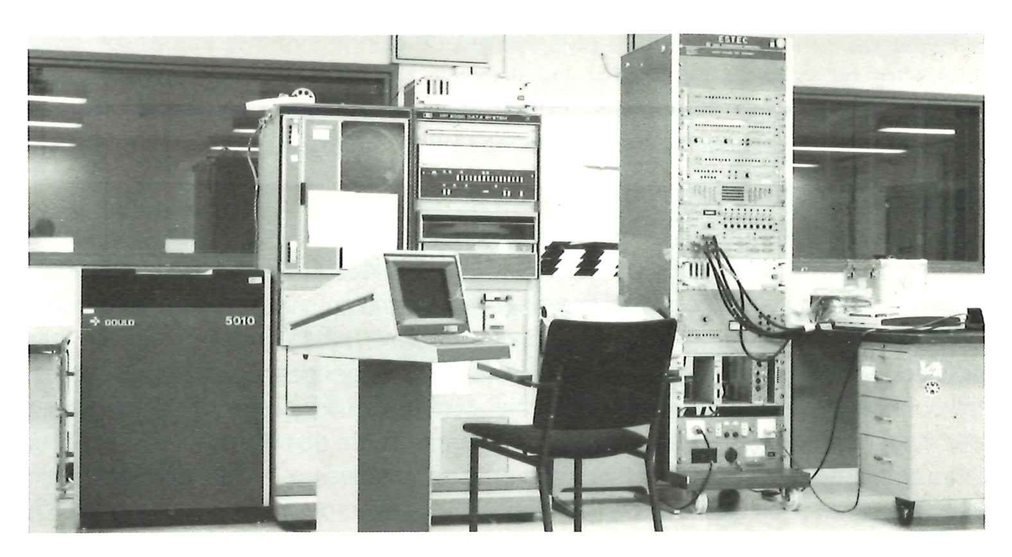
Pendant cette période furent préparées les missions HEOS-A2, TD-1A et ESRO-4. Du point de vue des essais de traitement de données et des essais électriques, cette gamme de satellites était pratiquement la même que celle de la période précédente. Cependant, les expériences étaient plus compliquées et par conséquent plus contraignantes sur le plan des exigences de télémesure et de télécommande (donc également sur celui des impératifs d'essai et de traitement des données). Les ensembles de test pour le traitement des données d'ESRO-1 et 2 furent réutilisés pour tester les codeurs de télémesure et les décodeurs de télécommande. Les OCOE furent améliorés avec des ordinateurs Honeywell 516 à mémoire de 16 K, et une liaison de commande fut ajoutée pour entraîner les installations de simulation des satellites à partir de l'ordinateur. Le logiciel fit également un grand pas en avant en ce sens qu'une installation de contrôle continu des données fut mis au point, ainsi qu'un langage d'essai élémentaire. Les ingénieurs de l'ESA se livrèrent encore plus activement à la conception et à la construction des interfaces de l'ordinateur.

Vers la fin de cette période, la direction de l'ESA commença à réduire le groupe EGSE avec l'intention d'en transférer la responsabilité totale à l'industrie, en particulier aux maîtres d'oeuvre des satellites. Ce moment fut considéré opportun parce que les premiers programmes pré-opérationnels de satellites d'application commençaient (il s'agissait d'OTS/Marots et de Météosat), ainsi que les programmes de satellites scientifiques ISEE-B, Geos et Cos-B. Cependant, les propositions de l'industrie indiquaient qu'elle n'était pas encore en position de faire des offres acceptables pour la fourniture de l'infrastructure électrique sol, et de trouver les ressources nécessaires au pré-financement de ces éléments coûteux et à long délai de livraison. En conséquence, l'Agence, après avoir bien étudié le problème, décida de rajeunir son groupe EGSE et de prendre la responsabilité de fournir les OCOE et les ensembles d'essai et de traitement de données pour l'ensemble des cinq projets qui étaient programmés au début de la période suivante.

3ème période: 1972–78

Avec les projets Météosat et Geos, les exigences à satisfaire devinrent infiniment plus complexes que lors des projets antérieurs. Dans chaque cas, il y avait deux flots de données de télémesure provenant du satellite, avec des débits très élevés. Par exemple, le débit des données de télémesure de l'image de Météosat était de l'ordre de 160 kb/s avec un mode continu d'environ 2,5 Mb/s. Un appel d'offre pour des systèmes OCOE de plus grande capacité fut par conséquent lancé, qui aboutit à un système informatique CTL avec des interfaces CAMAC choisies aussi bien pour Geos que pour Météosat. Les systèmes basés sur l'ordinateur Honeywell 516 des programmes précédents furent remis à neuf et utilisés pour des projets à débits binaires plus faibles; ils furent finalement utilisés pendant un total de douze ans. Tous les projets qui commencèrent dans cette période utilisaient la

Equipement de vérification du satellite Exosat.



nouvelle norme de télécommande PCM de l'ESA car il fallait des caractéristiques plus puissantes que celles qui pouvaient être offertes par l'ancien système de télécommande numérique par tonalité de la NASA. Il est intéressant de noter que cette première contribution commune des deux Agences en vue d'une nouvelle norme préfigurait d'autres travaux extrêmement fructueux du Groupe de travail NASA-ESA (NEWG) et du Comité consultatif international pour les systèmes de données spatiales (CCSDS).

C'est au cours de cette période que le premier équipement d'essai informatique du décodeur de télécommande (TCTE) fut conçu. Grâce à une définition claire, par l'ESA, des objectifs et des capacités requises, ainsi qu'à l'ingéniosité de l'industrie, ce matériel constitua un jalon décisif dans l'adoption d'une approche systématique des essais de décodeur.

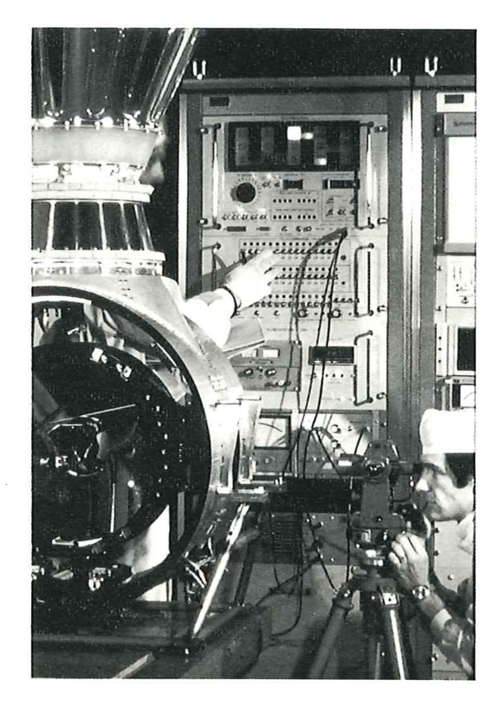
Le grand nombre de projets pris en charge pendant cette troisième période commença à présenter quelques difficultés, non seulement dans la préparation du logiciel OCOE avant que le matériel soit disponible, mais aussi dans la prise en charge jusqu'au lancement, avec un flux incessant de modifications, de mises à jour, de nouvelles exigences d'essais etc. En fait, ce problème avait existé depuis les tout premiers jours, mais les exigences d'essai plus sophistiquées engendraient un niveau constamment élevé d'activité de mise au point du logiciel.

On résolut ce problème en créant une 'station de contrôle universel' (UCOS) installée à l'ESTEC et conçue pour être compatible avec l'ensemble des systèmes installés dans ce domaine. Initialement, l'UCOS renfermait l'ensemble du matériel frontal de télémesure et de télécommande et comportait un ordinateur Honeywell 516, mais le concept s'avéra si performant qu'il fut ultérieurement développé pour inclure un système basé sur un ordinateur CTL. Cela signifiait que les deux types de systèmes alors utilisés dans ce domaine étaient totalement pris en charge quant à la mise au point du logiciel et du matériel informatique et quant aux installations de diagnostic.

4ème période: 1978–82

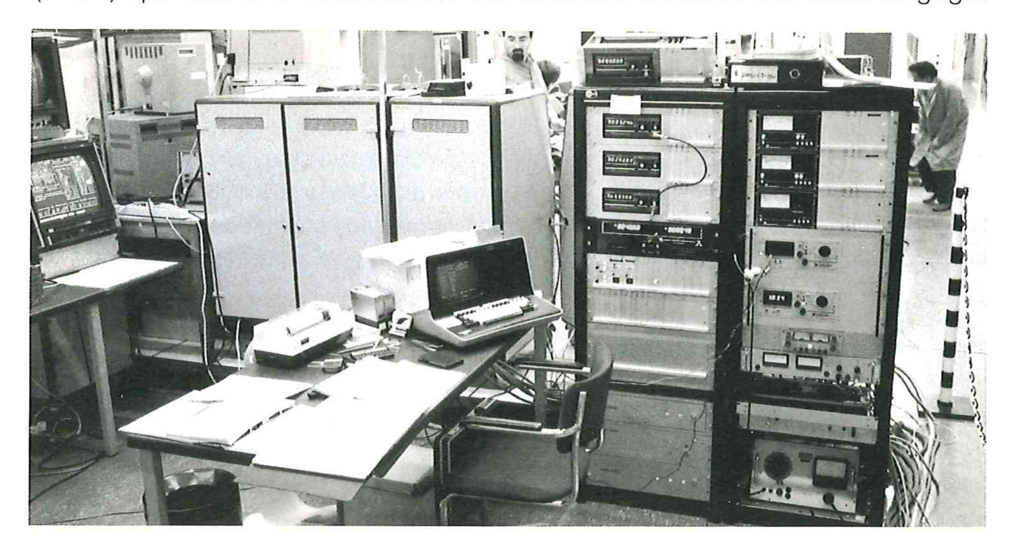
Cette période comprit les projets ESA (Exosat, FOC, Marecs et ECS), ainsi que les

projets nationaux néerlandais (IRAS) et français (Télécom-1). Elle commença par un examen approfondi et critique du bien-fondé de l'engagement persistant de l'ESA dans la fourniture de systèmes de contrôle de satellites. Cet examen comprit plusieurs tables rondes avec l'industrie lors desquelles trois questions-clés furent débattues. Il s'agissait d'abord de savoir si l'on avait besoin d'un groupe centralisé comprenant l'ESA et certains sous-traitants pour préparer les systèmes et le logiciel d'EGSE. La seconde question concernait l'intérêt et l'aptitude de l'industrie à prendre en charge un groupe centralisé. La troisième enfin se rapportait à la division relative des tâches entre un groupe centralisé et le reste de l'industrie. Le consensus qui se dégagea à la fin de ce débat fut que l'on avait besoin d'un groupe centralisé pour la conception et la préparation en temps utile de systèmes EGSE. Par ailleurs, l'industrie ne pouvait jouer ce rôle, compte tenu des longs délais de livraison du matériel et d'une baisse du niveau d'activité en Europe, sans créer un monopole au profit de tel ou tel consortium aérospatial. L'industrie estima cependant que si l'ESA continuait à jouer un rôle central, il faudrait donner davantage de liberté à l'industrie pour se procurer son propre matériel et le mettre en oeuvre selon des désirs. Finalement, l'ESA publia une mise à jour de son document sur la Politique industrielle et fournit une famille standard de systèmes pour l'ensemble des projets sus-mentionnés, le mode d'approvisionnement et de soutien étant adapté à des exigences spécifiques. Des systèmes furent vendus aux fabricants des programmes de communication multisatellites ECS-Marecs-Telecom 1, et le projet national néerlandais IRAS opta pour un système de prêt à long terme. Des fabricants de satellites exploitèrent leurs propres systèmes EGSE et se chargèrent des réparations et des problèmes de gestion au jour le jour, mais tous levèrent une prime pour bénéficier du 'système de gestion central' (CMS) de l'ESA pour la maintenance au second degré et pour l'accès au fonds commun de pièces de rechange. Les systèmes destinés à Exosat et à FOC continuèrent d'être détenus, exploités et entretenus par l'ESA.

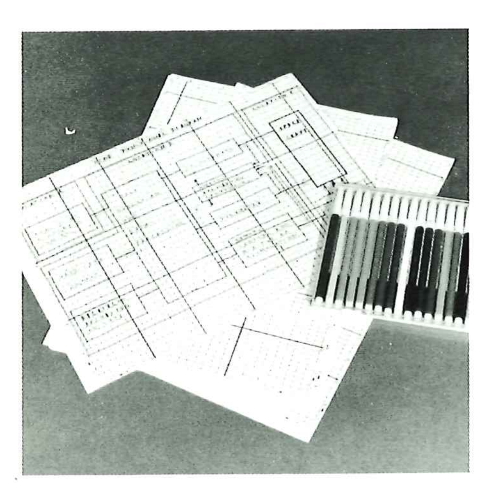


Le satellite Météosat 'branché' à son équipement de vérification.

Tous les OCOE de cette quatrième période étaient basés sur le même système informatique que celui utilisé pour Geos et Météosat (c'est-à-dire sur un ordinateur CTL) et furent fournis avec le 'langage d'opérations d'essai de l'ESA' (ETOL) qui était une combinaison des meilleurs éléments des deux langages



Equipement de vérification de la Chambre pour astres de faible luminosité (FOC) du Télescope spatial.



Du traçage manuel (papier + crayons couleur) au pupitre informatisé du conducteur des essais...



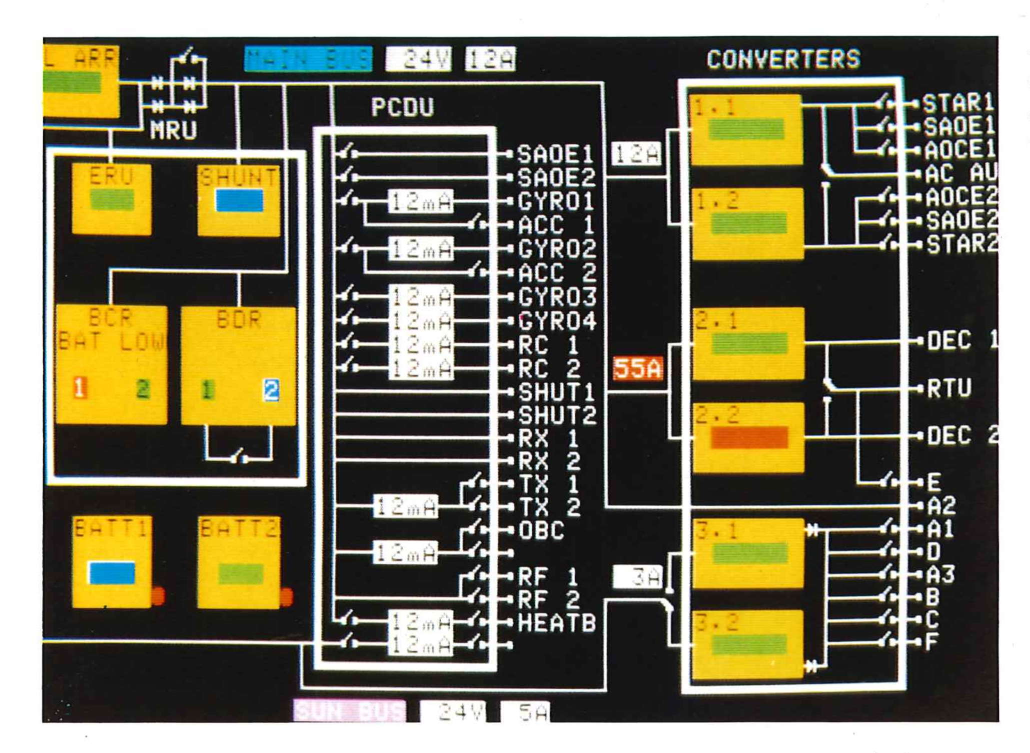
d'essai simples utilisés sur les systèmes Honeywell 516 et CTL de la troisième période, ainsi que des données d'entrée du langage américain d'essai de satellite GOAL. Le système d'exploitation du fabricant d'ordinateurs fut retenu, mais sous une forme très modifiée et réduite pour qu'il soit en mesure de faire face aux exigences de traitement en temps réel et de s'adapter à une mémoire de 88 K.

Pendant cette période, un effort important fut fait pour étudier les systèmes EGSE qui seraient requis pour l'avenir, en prenant en compte la nécessité d'essayer les satellites avec un grand nombre d'ordinateurs embarqués. Jusqu'à la fin de la quatrième période, seuls Exosat et IRAS avaient des ordinateurs embarqués, et ces derniers étaient situés au centre du satellite. Ces études furent faites conjointement avec l'ensemble des principaux maîtres d'oeuvre européens, et plusieurs réunions eurent lieu pour débattre des questions, présenter les découvertes et informer l'industrie des actions de suivi proposées.

Les essais au niveau des unités firent un progrès majeur au cours de cette période, en phase avec l'évolution des systèmes embarqués de traitement des données. Des méthodes d'essai à l'appui des architectures de bus de données embarqués furent imaginées et une gamme de matériels d'essai automatique fut fournie aussi bien pour les projets de l'ESA que pour les projets externes.

5ème période: depuis 1982 . . .

Cette période comprend les projets de satellites ISPM, L-Sat, Giotto, Hipparcos, ERS et Eureca de l'ESA, ainsi que les projets nationaux allemand (Rosat), britannique (UK S) et italien (Iris). Elle vit le jour après dix-neuf années pendant lesquelles l'ESA joua le rôle de fournisseur de systèmes EGSE. Les systèmes ISPM et surtout Giotto, étant les derniers à être fournis, détenus, exploités et entretenus



Les écrans synoptiques couleur offrent à l'opérateur une vue d'ensemble des essais tandis qu'un 'zoom' lui permet d'examiner en détail un événement ou une situation déterminée.

par l'ESA, sont également les prototypes d'une nouvelle génération de systèmes devant être utilisés par les autres projets dans la période actuelle.

Les maîtres d'oeuvre des autres projets sont en train de fournir leurs propres systèmes compatibles avec les normes de l'ESA, et de construire leurs propres infrastructures EGSE. Ces normes, qui ont été progressivement mises au point au cours des années avec des apports au jour le jour d'ingénieurs d'assemblage, intégration et essai (AIT) dans les diverses sociétés aérospatiales réparties dans toute l'Europe, ont été étayées par des documents et présentées à une table ronde avec l'industrie le 12 juillet 1983. Il fut alors décidé d'établir à l'ESTEC des systèmes de référence capables de démontrer la faisabilité et la commodité des normes EGSE.

L'issue de cette réunion démontra un fort consensus entre les industriels en faveur de l'adoption des normes de l'ESA, et le désir de participer à une Commission des Normes EGSE. La réunion suivant se tint en octobre 1983, à laquelle assistèrent les principaux maîtres d'oeuvre aérospatiaux européens, pour définir le mandat de cette Commission. Le logiciel ETOL a déjà été concédé en licence à BAe pour L-Sat et ses dérivés, à CNR/PSN pour les programmes nationaux italiens, et des discussions sont en cours avec MATRA pour Hipparcos, avec ERNO/MBB pour Eureca et avec Dornier/Fokker pour Rosat et la charge utile d'ERS.

La tendance observée à partir des événements précédents est que les sociétés deviennent de plus en plus autosuffisantes dans la réalisation de l'EGSE, et que l'ESA continue le mouvement en cours vers une plus grande normalisation des méthodes d'essai, de l'architecture d'EGSE et de la simulation des opérations orbitales des satellites pendant les essais au sol. Les derniers systèmes EGSE de l'ESA qui sont maintenant en service utilisent des réseaux locaux (LAN) à bande

large pour raccorder entre eux les divers éléments de l'EGSE. Cette innovation a fourni un moyen facile pour découpler les uns des autres les sous-systèmes d'EGSE, aussi bien du point de vue technique qu'organisationnel. Conjuguée avec la relative facilité de transport du logiciel normalisé de l'ESA (actuellement utilisé sur des ordinateurs CTL et DEC, et ultérieurement sur des ordinateurs HP et autres), l'utilisation de ces réseaux a ouvert la voie pour que l'EGSE de type ESA jouisse d'un haut degré d'indépendance par rapport à un fournisseur particulier de matériel et de logiciel.

Un matériel d'essai d'unités de référence ESA est également installé à l'ESTEC. Il est à la disposition de l'industrie à titre de référence, et également en tant qu'outil de vérification et de validation indépendantes. L'ESA définit les normes de traitement des données à bord des satellites et est par conséquent tenue de les étayer avec les ensembles d'essais de référence. Les informations et l'accès sont à la libre disposition de la communauté des utilisateurs.

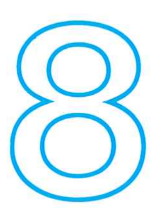
Le rôle principal de l'ESA, sans doute pour les cinq prochaines années, sera la transmission des connaissances techniques relatives à l'EGSE et l'accès à la gamme de systèmes de référence, et donc l'assistance aux sociétés aérospatiales européennes pour établir leur propre infrastructure d'EGSE. La création et le maintien de normes EGSE se fera en parallèle, en concertation avec l'industrie et les autorités nationales par l'intermédiaire des bureaux de la Commission des Normes EGSE et du Comité consultatif pour les systèmes de données spatiales.

Les développements techniques seront presque certainement orientés vers l'ergonomie des opérateurs et la présentation des données. Des systèmes de référence EGSE seront mis au point pour étayer et faire approuver les normes que l'industrie européenne pourra ensuite adapter à ses propres programmes particuliers. L'ESA mettra à la disposition de l'industrie des cours de formation et de la documentation, ainsi que les services centralisés d'opérations, de maintenance et de pièces de rechange.

La liaison et la coopération récentes entre l'ESA et l'industrie suivant ces grandes lignes ont démontré la volonté et l'intérêt communs de travailler ensemble sur la base d'une normalisation des concepts, des procédures, des interfaces, du logiciel et même du matériel lorsque les circonstances le permettent. L'ETOL, qui peut être comparé à des langages américains tels que le STOL, le GOAL etc., est probablement connu et utilisé par un plus grand nombre de sociétés aérospatiales que tout autre langage d'essai de satellites. Les installations permettant de créer rapidement des schémas en couleur (sans l'aide d'experts du logiciel), qui sont dynamiquement mis à jour avec des données, sont en avance sur tout autre système éprouvé sur le terrain, car elles sont faciles à utiliser et adaptées aux opérations des satellites. L'opérateur ou l'ingénieur d'essai dessine le schéma selon un ensemble de règles simples mais bien définies. Ces règles définissent également les méthodes pour mettre en lumière des événements tels que les dépassements de limites, les situations dangereuses, etc. Les schémas sont ensuite introduits dans la base de données sur disque, l'ensemble de l'opération prenant environ une demi-journée pour chaque schéma. Des quelque cinquante images qui pourraient être introduites dans la base de données, quatre sont tenues continuellement à jour pour faire apparaître l'état actuel du satellite et

du système EGSE. Un certain nombre d'écrans de visualisation et d'autres éléments d'interface périphérique constituent une 'console de conducteurs d'essai' (TCC). Le système synoptique en couleur est conçu avec l'idée d'utiliser un minimum de deux écrans; l'un donne la vue d'ensemble du système du satellite total (et même l'EGSE si besoin est) et l'autre peut être utilisé pour obtenir un plan rapproché dans la zone du satellite qui nécessite un examen plus approfondi.

La fourniture de services éprouvés et normalisés non seulement apporte des avantages commerciaux à l'industrie européenne, mais fournit également la clé permettant de faire face au déluge de données en croissance rapide. L'exploitation fructueuse d'un satellite dépend en fin de compte du transfert des informations entre de nombreuses autorités (ESA, agences nationales, maîtres d'oeuvre, sous-traitants, universités, autorités de télécommunications, etc.) non seulement pendant les opérations orbitales mais aussi pendant le programme d'essai. Cela n'est pas possible à moins que toutes les parties concernées n'aient convenu, avant le commencement du projet, de la façon dont elles vont se communiquer mutuellement ces informations d'une manière normalisée.


8

Assurance produits et normes

La complexité de plus en plus grande des satellites ainsi que l'extension de leur durée de vie ont conduit l'Agence à jouer un rôle de plus en plus important en matière d'Assurance Produits. Les travaux de recherche sur les matériaux et composants ont été payants et se poursuivent sans répit. Les activités dans le domaine des normes et spécifications, l'effort de rentabilité des projets, de même que l'excellence technique de l'ESA ont été appréciées. Depuis l'avènement du Spacelab, l'Agence porte une attention particulière sur les exigences de sécurité des vols habités. Elle continue de jouer un rôle de premier plan dans la coordination des spécifications et de la qualification des composants en Europe, en particulier au sein du Groupe de Coordination des composants à usage spatial. Un des champs d'application privilégiés des normes a été celui de la télémesure & télécommande et du traitement des données. L'interdépendance des programmes de l'Agence et des programmes nationaux dans ce domaine est telle qu'une assistance mutuelle et une accessibilité maximale entre les divers systèmes sont devenues essentielles. Les programmes futurs de l'Agence exigeront à coup sûr que de nouvelles normes et procédures soient appliquées aussi bien au niveau du matériel qu'à celui du logiciel.

Expérience embarquée sur ECS-1 pour la mesure de la contamination et de la dégradation des radiateurs.

L'évolution de l'assurance produits

Dans les premiers jours de l'activité spatiale européenne, l'accent fut mis sur les problèmes technologiques spécifiques découlant de la situation unique représentée par l'exposition des satellites à l'ambiance spatiale. Il s'agissait en particulier du comportement des matériaux et composants exposés à d'importants écarts de température, au dégazage sous vide, et au rayonnement ionisant. Le champ d'application et la pratique de l'assurance produits (AP) au sein de l'ESRO étaient limités à cette époque et on laissait essentiellement à l'industrie le soin de définir et d'effectuer les contrôles AP nécessaires. Mais c'est l'Agence qui établit les exigences relatives à l'assurance qualité et fiabilité.

L'objectif du programme de qualité était de garantir que l'objet destiné à voler était construit et essayé comme défini lors de la conception, c'est-à-dire avec la garantie du contrôle de qualité et de l'inspection. Le programme de fiabilité constituait un moteur pour la conception, et fournissait une évaluation par analyse de la fiabilité attendue du véhicule destiné à voler.

La recherche de pointe effectuée par les laboratoires de composants et de matériaux, établis en 1965, conduisit à une plus grande connaissance qui put ensuite être appliquée dans le secteur de l'analyse des défaillances. Ce travail d'analyse, combiné à des évaluations technologiques, justifia une extension considérable des installations, y compris l'installation d'équipements sophistiqués à la fin des années 1960 et au début des années 1970.

L'ESRO commença avec des satellites scientifiques qui étaient conçus pour une durée de vie relativement courte, de six mois environ; elle continua à les développer à mesure que les scientifiques imaginaient des missions plus ambitieuses, et que les Etats membres se mettaient d'accord sur un programme d'applications, et à mesure que l'évolution technologique permettait de construire des satellites de complexité beaucoup plus grande et à durée de vie beaucoup plus longue. A l'heure actuelle, les satellites sont conçus avec une espérance de vie allant jusqu'à dix ans. Cette évolution signifie que les programmes AP doivent être développés aussi bien d'un point de vue technique que d'un point de vue assurance, mais en proportion avec les exigences de l'heure. Celles-ci comprennent des étapes majeures telles qu'une fiabilité plus grande pour une longue durée de vie, le concept de satellites habités (impliquant en particulier l'exigence de sécurité) et, dernièrement, le besoin de spécifications AP pour les véhicules de lancement et le matériel de soutien au sol. Dans ce contexte, les activités AP mettent en jeu non seulement la qualité et la fiabilité, mais aussi la sécurité, la facilité de maintenance, la gestion de configuration, l'assurance de qualité du logiciel, les composants, les matériaux et les procédés.

L'important changement qui fut réalisé en faisant passer l'accent de la fonction inspection et contrôle à un effort accru en faveur de mesures préventives (par ingéniérie AP) pendant le cycle initial d'un projet permet d'entreprendre un programme plus rentable. Cette approche permet de déceler les problèmes majeurs de conception à un stade précoce; tout défaut découvert à une phase ultérieure du projet serait dû à une erreur d'exécution et, par conséquent, plus facile à corriger sans conséquences graves sur les performances, les coûts ou les délais.

EXIGENCES ET NORMALISATION

Au cours des premières années de l'ESA, les projets individuels avaient leurs propres exigences de qualité et de fiabilité. Mais la réalisation de spécifications propres à chaque projet était un fardeau et allait à l'encontre des tentatives de normalisation effectuées par l'industrie.

Un système plus cohérent d'exigences AP fut établi par l'ESA, le système dit 'QRA, ARM et QRC', dont les exigences sont très détaillées et applicables à tous les projets. A l'heure actuelle, les exigences générales de l'ESA en la matière sont définies dans le système 'Procédures, Normes & Spécifications' (PSS) qui donne la souplesse nécessaire pour adapter les exigences aux besoins spécifiques d'un projet tout en conservant un profil ESA uniforme et cohérent ainsi qu'une norme commune. Cette politique est définie afin d'augmenter la rentabilité globale. Des spécifications AP propres à un projet ne sont fournies que lorsqu'il est jugé obligatoire d'atteindre des performances satisfaisantes.

La collaboration active de la 'Division Assurance Produits' de l'ESA avec d'autres parties vise à:

- la promotion du progrès technologique en Europe,
- la normalisation en vue d'une réduction des coûts,
- l'échange d'informations pour éviter une duplication du travail,
- l'harmonisation en vue de simplifier l'exécution de programmes conjoints.

Ces objectifs impliquent la participation à des conférences, à des groupes de travail et à des commissions, ainsi qu'une coopération directe avec les organisations ayant des activités spatiales. Nos principaux partenaires sont l'industrie européenne, les agences spatiales nationales européennes et, hors d'Europe, les agences spatiales des Etats-Unis, du Japon et de l'Inde.

Deux importantes initiatives qui ont été prises récemment, visent à:

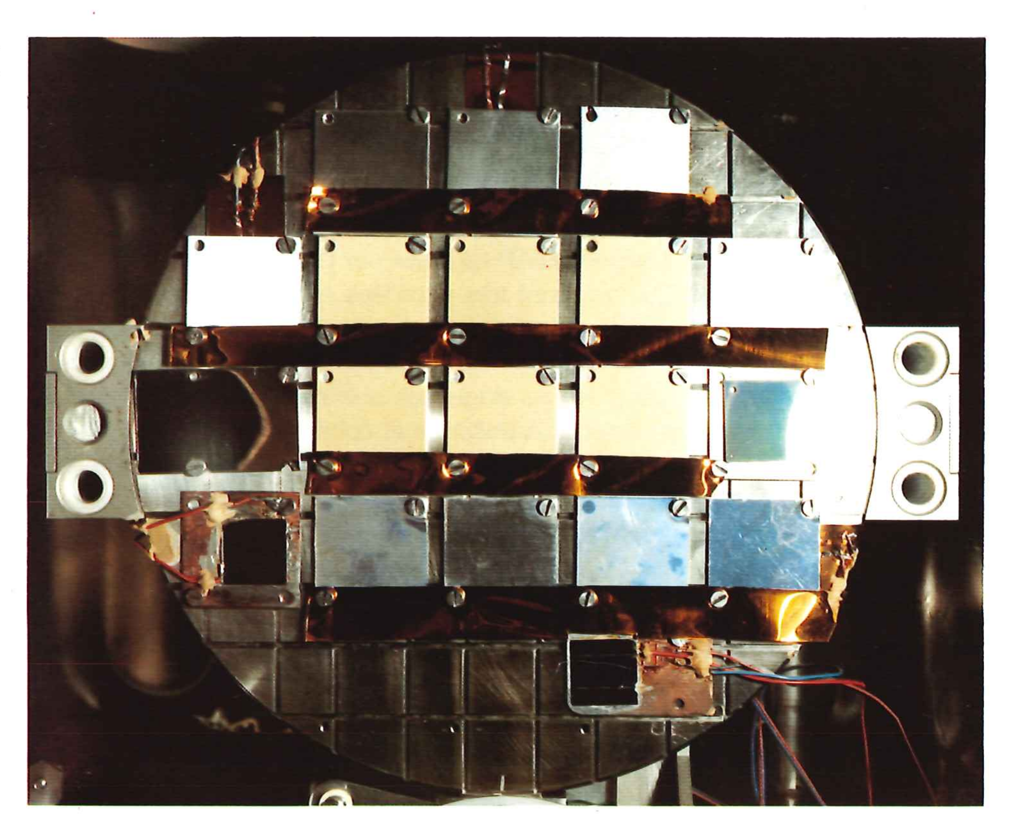
- obtenir, en coopération avec des agences spatiales nationales européennes, l'adoption des normes AP de l'ESA pour tous les projets nationaux;
- parvenir à un accord formel avec la NASA sur la parité des normes PA de l'ESA et de la NASA et sur l'acceptation mutuelle des produits mis au point selon ces normes.

DISCIPLINES MAJEURES DE L'ASSURANCE PRODUITS

Qualité

L'approche de la discipline 'qualité' a été modifiée par augmentation des mesures préventives, à savoir par l'introduction de l'ingénierie de qualité dans la conception du projet pour augmenter le pourcentage de succès pendant la fabrication, pour faciliter l'accessibilité à l'inspection et, le cas échéant, pour faciliter la maintenance. En outre, la désignation appropriée de points d'inspection obligatoires et de points d'inspection clés (programme MIP/KIP) réduit le risque d'effets défavorables sur les coûts et les délais. La croissance et l'importance des produits logiciel ont donné naissance à une activité supplémentaire dans l'assurance qualité.

Evaluation de la dégradation sous rayonnement ultraviolet de la peinture du porte-instruments du Spacelab.



Fiabilité

L'évolution des programmes de l'ESA requiert une mise en oeuvre souple des exigences de fiabilité qui vont du besoin de prévisions numériques crédibles de fiabilité pour les satellites à longue durée de vie, à l'exécution systématique d'une 'analyse des modes, des effets et du caractère critique des défaillances' (FMECA). L'attention portée à la discipline 'fiabilité' est actuellement concentrée sur les interfaces logiciel-matériel en expansion, et sur les systèmes embarqués autonomes.

Sécurité

L'élan principal donné à l'introduction de la sécurité des systèmes dans l'assurance produits de l'ESA a été le programme Spacelab, premier système spatial habité de l'Europe. La sécurité a non seulement influencé la conception du système Spacelab, mais a aussi accentué le besoin pour une discipline d'assurance sécurité et d'autres considérations sur le choix des matériaux, de la mécanique des ruptures, des procédés, de l'inspection, du fonctionnement etc.

Les besoins immédiats dans ce domaine sont: la définition d'exigences de sécurité adéquates pour chaque application (véhicules de lancement différents par exemple), la normalisation des méthodologies, et une plus grande connaissance de la sécurité au sein de l'industrie spatiale européenne et de l'Agence.

Composants

Une question importante qui se pose dans tout programme spatial est de savoir si des composants à haute fiabilité seront disponibles à un prix raisonnable dans le

cadre du calendrier établi. Compte tenu de la politique de l'Agence quant à la promotion de la technologie européenne, la solution de ce problème particulier constitue l'objectif de toutes les activités majeures de l'ESA en matière de composants. La tendance actuelle en faveur d'une plus grande complexité de conception des satellites, l'application accrue de la technologie avancée, la demande pour des durées de vie plus longues à partir de cycles réduits de conception et de fabrication, montrent clairement que des problèmes encore plus sérieux sont devant nous.

Comme les systèmes d'approvisionnement – dominés par les Etats-Unis – étaient basés sur la production à grande échelle de composants à haute fiabilité, ils ne pouvaient être repris directement par l'Europe dont le marché de matériel spatial était plutôt limité. Un nouveau système recouvrant des stratégies et des procédures d'essai modifiées, ainsi qu'un système uniforme de spécifications d'approvisionnement applicable à tous les types de composants et de technologies électroniques, dut être établi. Cette approche intégrée prenant également en compte les aspects gestionnels et techniques a été accueillie favorablement aussi bien par les industriels utilisateurs que par les industriels fabricants.

La politique, le progrès et les réalisations du système d'approvisionnement européen peuvent être résumés comme suit:

- spécifications, qualification et maintien de la qualification des composants normalisés;
- sélection et évaluation de composants non normalisés et de technologies avancées;
- mise au point des techniques et des capacités d'analyse du 'Laboratoire des Composants' de l'ESA.

Spécifications, qualification et maintenance de de composants normalisés

A l'époque où la Division 'Assurance Produits' s'efforçait de prépararer des documents décrivant sa politique de base, on se rendit compte qu'il existait un besoin pour un système homogène de spécifications et de qualification des composants en Europe. On savait également que des tentatives étaient faites dans cette même direction par les agences spatiales nationales et que, si ces tentatives pouvaient être coordonnées, il serait possible d'atteindre trois objectifs essentiels, à savoir:

- un système de spécifications européen unique,
- une procédure harmonisée d'extension de ce système,
- une méthode coordonnée permettant l'acceptation, au niveau international, de composants qualifiés provenant de pays adhérant à ce système.

Des réunions entre l'ESA et les agences spatiales nationales confirmèrent ce besoin d'un système coordonné, et aboutirent à la constitution par le Conseil, en 1971, d'un 'Groupe de Coordination des Composants pour l'Espace' (SCCG). Ce Groupe est directement responsable devant le Directeur général, qu'il conseille et qu'il assiste dans la coordination des activités de l'ESA et des agences spatiales nationales dans le domaine des composants destinés aux applications spatiales.

Les objectifs du Groupe sont de promouvoir la production en Europe de composants spatiaux appropriés et de contribuer à leur définition.

Les caractéristiques principales du système SCC, qui est conçu expressément pour donner satisfaction à l'industrie européenne, sont:

- l'évaluation des fabricants et des produits en vue d'analyser, de mettre au point et de 'figer' la documentation de contrôle des procédés;
- un concept de niveau de qualité modulaire selon lequel il est possible, en faisant varier le degré de tri et/ou d'essais d'échantillons, d'établir différents niveaux de confiance;
- l'exigence d'essayer des échantillons de chaque lot de fabrication, au lieu de se contenter d'essais périodiques. Cette exigence, non seulement contribue à la fiabilité des lots, mais aussi aide à maintenir la qualification à un prix de revient nettement réduit par rapport aux systèmes classiques.

Dans l'intérêt d'une normalisation et d'une collaboration internationale plus poussées, le Directeur général de l'ESA et le Président du 'Comité des Composants électroniques CENELEC' (CECC) signèrent en 1979 un protocole d'accord afin d'assurer une coopération maximale dans le domaine des composants électroniques spatiaux, et de mettre en forme le processus d'intégration des spécifications du SCC de l'ESA dans le système CECC.

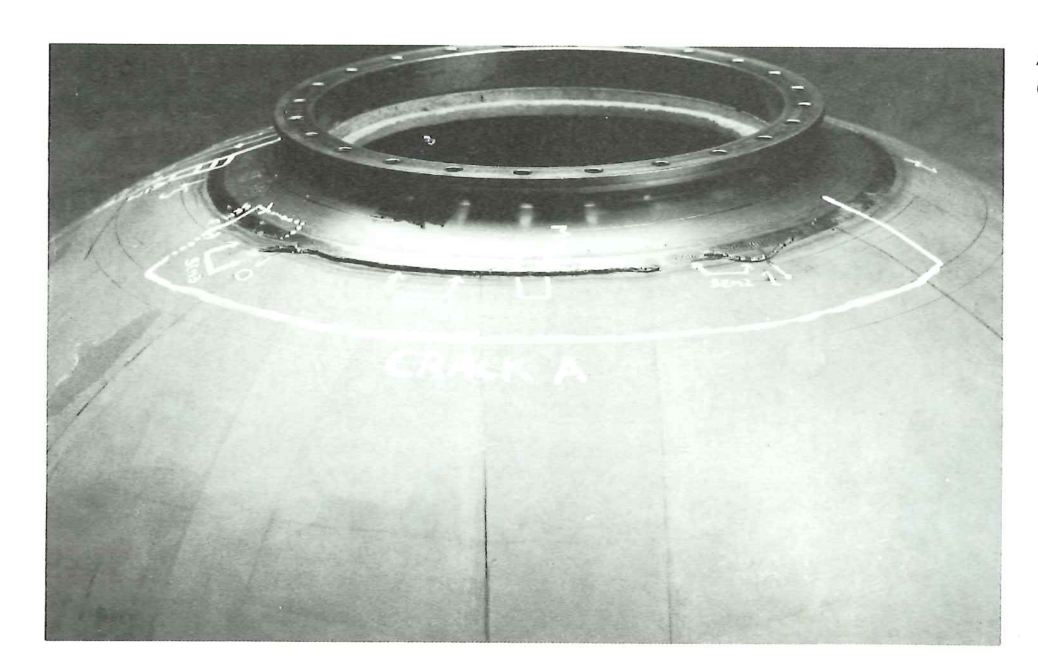
Le SCCG a mis au point un système de spécifications permettant de répondre aux exigences des projets de l'ESA. Au total, 689 spécifications ont été approuvées jusqu'à présent, tandis qu'environ 300 spécifications sont en cours de préparation. L'objectif initial était de couvrir les composants européens, mais le système de spécifications existant du SCC de l'ESA peut être utilisé aussi bien pour des composants fabriqués hors d'Europe. Cette possibilité donne aux projets l'avantage d'un système de spécifications uniforme.

Des efforts importants ont été consacrés par le SCCG à la qualification et à la maintenance de qualification des composants européens. La 'liste des pièces qualifiées' contient maintenant 114 entrées. Il y a lieu de noter qu'une entrée peut correspondre à plusieurs composants qualifiés; par exemple, dans le cas de la famille des circuits intégrés, une entrée peut couvrir jusqu'à 95 dispositifs qualifiés.

Les composants européens qualifiés répondent actuellement à 50% des besoins des projets de l'ESA quant au coût total des composants.

Composants non normalisés et technologies de pointe

Aucun autre secteur technologique que celui des composants électroniques n'a probablement connu une innovation aussi formidable et une évolution technique aussi dynamique (expansion vers la miniaturisation). La réalisation des missions actuelles et futures repose d'ores et déjà sur une large utilisation de composants complexes dans les technologies avancées, tirant pleinement parti de leur caractéristiques spécifiques telles que faible puissance, légèreté et hautes performances. Cependant, en ce qui concerne la fiabilité, ce développement constant est en contradiction avec l'approche de qualification classique qui n'est utilisable que pour des technologies qui sont déjà presque figées. Pour les composants, qui sont encore sujets à évolution, la mise au point de nouvelles



Analyse de défaillance sur le moteur d'apogée du satellite Sirio-2.

stratégies d'essai et de nouvelles techniques analytiques était nécessaire pour fournir une solution plus opportune et économique.

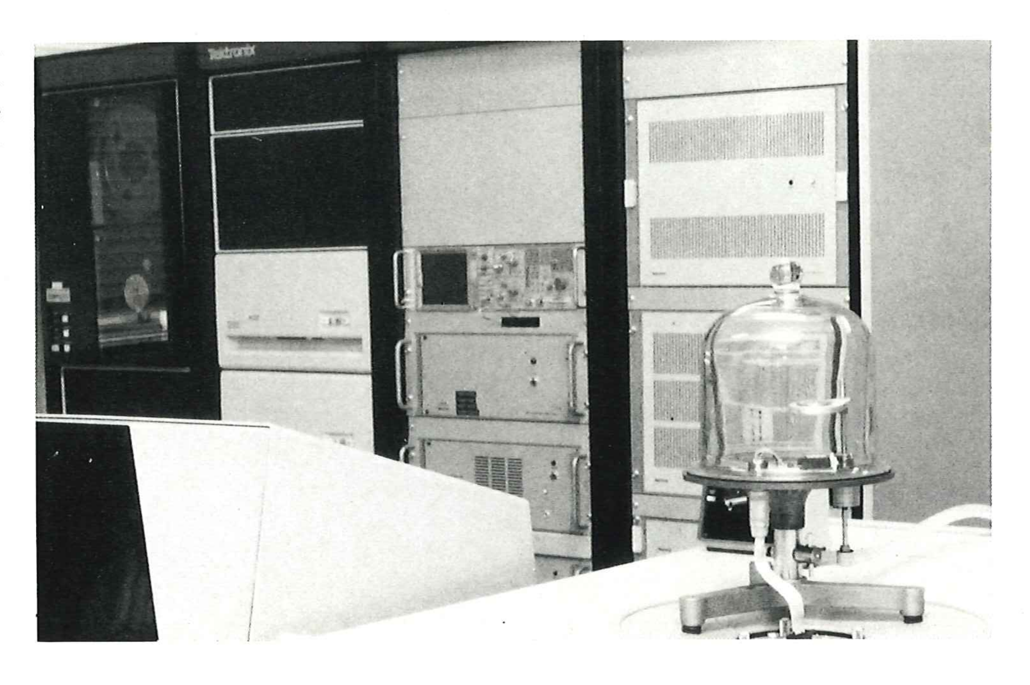
Cette nouvelle approche, applicable à toutes les technologies avancées et à tous les composants non normalisés, se compose de trois phases: l'évaluation des performances lorsque toutes les caractéristiques pertinentes pour l'application prévue sont établies; l'évaluation technologique lorsque les limites de contraintes, les modes de défaillance potentiels et le comportement à long terme sont analysés; et la phase de définition de l'approvisionnement lorsque tous les documents définissant les contrôles de tri et les essais de lots sont préparés à partir des résultats des deux premières phases. Comme seuls des essais relatifs à la technologie doivent être effectués, cette approche permet d'obtenir des avantages considérables de coût et de délai.

L'efficacité de ce concept dépend cependant dans une très large mesure de la connaissance spécialisée de l'ingénieur de composants compétent en ce qui concerne les procédés, la technologie et la physique des défaillances, ainsi que la disponibilité de techniques analytiques sophistiquées et d'installations puissantes. La compétence et la capacité de l'ESTEC dans ces domaines ont été développées et maintenues dans ses 'Laboratoires de Composants'. Ces laboratoires apportent un soutien direct à tous les programmes que l'ESA dans la sélection et l'application des composants et des technologies correspondantes; la majeure partie de leur travail consiste à évaluer les technologies avancées et à mettre au point de nouvelles techniques d'analyse.

Le Laboratoire des Composants électroniques

La microscopie à balayage électronique et des techniques apparentées, telles que l'analyse aux rayons X, constituent le trait dominant de l'activité du Laboratoire. Des techniques originales mises au point sur le microscope à balayage

Equipement informatisé de grande dimension installé au Laboratoire des Composants à l'ESTEC, destiné à mesurer les performances des microcircuits complexes.



électronique comprennent le contraste de tension dynamique et la conductivité induite par les faisceaux d'électrons.

Une extension majeure de la capacité d'essai et de mesure eut lieu en 1982 avec l'installation d'un grand système d'essai commandé par ordinateur pour les microcircuits complexes. Ce système est capable d'essayer des dispositifs ayant jusqu'à 128 conducteurs à une fréquence de 20 MHz. L'installation d'un tel système d'essai était nécessitée par le rôle grandissant de l'évaluation de technologies nouvelles, telles que grandes mémoires et microprocesseurs, qui représentent une une percée de taille dans la conception des stratégies d'essai pour assurer une efficacité maximale des essais.

L'étude des effets des rayonnements a toujours constitué une activité importante du Laboratoire et prend maintenant une importance croissante, toujours sous l'effet de l'évolution de la technologie des semiconducteurs. Les technologies modernes sont généralement très sensibles au rayonnement ionisant, et un nouveau phénomène de bouleversements dans les dispositifs microélectroniques, dû aux rayons cosmiques, reste un sujet de préoccupation.

Ces deux types d'effet de rayonnement sont étudiés au Laboratoire non seulement au niveau des essais directs, mais aussi dans une série d'études connexes nécessaires pour assurer des essais valables et une bonne compréhension des phénomènes rencontrés. Ces études comprennent la dosimétrie, les sources d'accélérateurs et les sources radioactives, les expériences en vol pour la mesure des doses reçues en orbite et des techniques de prévision informatisées.

Le Laboratoire reçoit un soutien, dans pratiquement tous les domaines, d'instituts et de laboratoires européens pour l'exécution de contrats d'études, surtout dans le secteur de la mise au point de techniques d'essai et d'analyse. Ces contrats aboutissent souvent à la mise au point d'une matériel informatique spécial et de

techniques d'utilisation de ce matériel, qui bénéficient directement aux fabricants et aux utilisateurs de composants européens.

La planification du développement du Laboratoire découle de la connaissance des développements programmés par les autorités de conception, surtout dans le traitement des données. Un effort plus grand sera déployé pour l'évaluation technologique, surtout celle des grandes mémoires, des microprocesseurs, des micro-ordinateurs et de la conception des semiconducteurs. Les composants hyperfréquences constituent des produits en développement rapide, et les technologies hyperfréquences et numériques sont en train de converger avec l'avènement de la logique gigahertzienne.

MATERIAUX ET PROCEDES

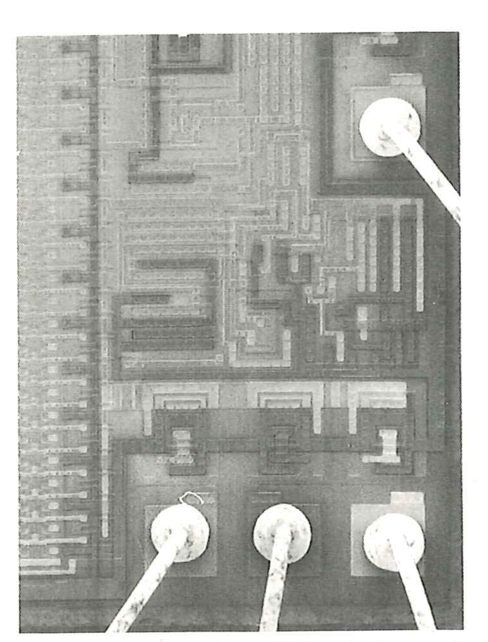
Les activités concernant les matériaux et procédés à utiliser dans les applications spatiales furent fortement marquées à leur début par l'aspect 'recherche': il s'agissait en fait de mesurer les effets d'un environnement alors inconnu sur les engins spatiaux. En parallèle avec l'industrialisation des activités spatiales les problèmes de matériaux et procédés ont évolué et se présentent maintenant, comme dans toutes les autres technologies, sous la forme d'une optimisation du choix en fonction de nombreux critères fonctionnels, de durée de vie, de coût etc.

Les activités

Les activités matériaux et procédés de l'ESTEC se sont donc diversifiées au cours du temps et couvrent maintenant un éventail très complet des technologies utilisées dans les réalisations spatiales. Dès l'abord il a été décidé de laisser à l'industrie les aspects 'classiques' de la sélection des matériaux, c'est-à-dire principalement la prise en compte des critères fonctionnels, l'ESTEC faisant plutôt porter ses efforts sur les problèmes posés par un fonctionnement fiable, pour de longues durées, en ambiance spatiale.

Cette ambiance, encore inhabituelle dans les conceptions de matériel, implique surtout une capacité pour les matériaux à résister au vide sans contaminer les dispositifs optiques ou électriques embarqués. La présence de flux de radiation (ultraviolet solaire, protons et électrons) a été prise en compte surtout pour le cas des satellites géostationnaires. De nouveaux problèmes se sont posés avec la découverte des phénomènes de charge électrique des surfaces pour cette même orbite et de nombreux développements ont été effectués dans le domaine des revêtements conducteurs de l'électricité. L'entrée de l'Europe dans la technologie des véhicules habités, avec la réalisation du Laboratoire spatial, a entraîné une extension des études de matériaux vers la solution des problèmes de toxicité et d'inflammabilité. Elle a aussi ouvert le champ aux travaux de lutte contre la corrosion, particulièrement la corrosion sous contrainte, des matériaux métalliques à haute performance. La technologie des composites à base de fibres à très haute résistance (carbone, kevlar) fait appel aussi au soutien des spécialistes en matériaux.

Cette croissance explosive des activités matériaux a été soutenue par la mise un place d'une banque de données permettant de stocker, et de retrouver en temps utile, l'expérience accumulée au cours des vingt années écoulées, au profit des nouveaux projets en cours de réalisation.



Exemple de tension différentielle appliquée à une mémoire à semiconducteurs.

La fabrication de matériel spatial s'effectue chez les contractants de l'ESA principalement sur la base de technologies électroniques ou dérivées de l'aéronautique. Ces réalisations ne représentent qu'un marché très réduit pour les fabricants de matériaux qui ne sont pas enclins à développer dans ces conditions de nouveaux produits. On peut toutefois grâce à des essais judicieusement choisis sélectionner, parmi les matériaux commerciaux, ceux qui sont susceptibles d'être utilisés en ambiance spatiale. Les activités dans le domaine des matériaux et procédés ont été mises en place à l'ESTEC sur cette base. Elles reposent sur un ensemble de laboratoires dont le rôle est d'étudier et de mettre au point des méthodes d'essais permettant d'évaluer les effets de l'ambiance spatiale sur les performances des matériaux proposés pour utilisation. Pour des raisons de coût d'investissement, la réalisation de ces essais a été centralisée à l'ESTEC, ainsi que dans quelques laboratoires sélectionnés et contrôlés par l'ESTEC.

Les domaines de recherche

Etant donné la nature des problèmes rencontrés dans l'espace, l'activité des laboratoires est orientée vers quatre directions principales:

- Vide et Contamination – Les essais dans ce domaine permettent de vérifier que les matériaux ne sont pas dégradés par l'utilisation sous vide élevé et ne polluent pas l'environnement du véhicule par des nuages de gaz ou des dépôts intempestifs, par exemple sur des éléments optiques.
- Surface et radiations – Les essais concernent ici surtout les matériaux de régulations thermique utilisés à la surface des véhicules (peintures, films métallisés etc.) qui jouent un rôle critique dans le maintien de la température adéquate des éléments embarqués et sont sensibles aux radiations existant dans l'espace (UV, particules).
- Métallurgie – Cette discipline est principalement utilisée dans le cadre des 'analyses de technologies' destinées à vérifier la qualité des procédés proposés par l'industrie pour l'utilisation spatiale (soudure, brazure tendre, revêtements protecteurs, traitements thermiques etc.) et dans le cadre des 'analyses de défaillances' effectuées sur les pièces donnant lieu à des accidents ou incidents en cours d'essais des sous-systèmes ou des systèmes.
- Polymères – Le but est ici très semblable à celui des essais métallurgiques, mais concerne une classe différente de matériaux (enrobages, isolants de câbles, polymères structuraux renforcés) ce qui implique des méthodes d'évaluation différentes.

Les essais, une fois mis au point, deviennent partie intégrante du système de spécifications d'Assurance Produits de l'ESA.

Le but ultime est d'obtenir la meilleure fiabilité possible au moindre coût pour des engins dont la durée de vie peut atteindre (et bientôt dépasser) 10 années.

L'AVENIR

Il y a plusieurs aspects qui auront une influence sur les développements ultérieurs dans le secteur de l'assurance produits (AP), tout en admettant la nécessité globale de rendre compte:

- de la rentabilité
- du progrès technologique
- du profil futur de l'ESA.

Les activités de l'Agence sont constamment dirigées vers le progrès technologique en vue de l'amélioration des performances des lanceurs et des satellites. Dans le secteur de l'assurance produits, cela est suivi par des études technologiques, surtout pour les matériaux et les composants. Cela concerne des matériaux plastiques et composites permettant des structures plus légères, et des circuits intégrés électroniques complexes en vue d'une diminution de la consommation d'énergie et du poids et d'une augmentation de la fiabilité. A cela se combine l'évolution nécessaire des procédures et techniques correspondantes telles que:

- l'analyse de sécurité;
- les spécifications d'approvisionnement;
- la qualification;
- le contrôle et les essais;
- l'évaluation des modes de défaillance, etc.

La rentabilité peut subir les effets positifs d'une normalisation plus poussée et de l'amélioration des procédures et des techniques. Les leçons apprises de l'expérience d'aujourd'hui seront évaluées en combinaison avec la mise en oeuvre de techniques moins exigeantes en main d'oeuvre, par exemple un usage accru des ordinateurs pour l'analyse, ainsi que pour l'enregistrement et la diffusion des résultats et des informations. Un dialogue plus intense avec l'industrie spatiale, d'autres agences spatiales et des établissements de formation sera une condition préablable à un résultat probant.

En accord avec le développement spatial international, le profil de l'ESA a évolué depuis les satellites scientifiques à 'mission unique' à des missions beaucoup plus ambitieuses et beaucoup plus exigeantes comprenant des programmes d'applications. Ces derniers nécessitent des plates-formes 'à longue durée de vie', des véhicules réutilisables et la présence de l'homme pour les opérations en orbite. De plus, le programme Ariane a fait apparaître la nécessité de couvrir également la technologie des lanceurs.

Les normes et les procédures AP doivent évoluer elles aussi, en prenant en compte les dernières et les futures conditions requises du matériel et du logiciel destinés à l'espace. Cela sera fait de telle sorte que, tandis qu'une ligne de conduite uniforme en ce domaine sera maintenue à l'ESA, on disposera d'une certaine souplesse pour sélectionner les normes et les procédures AP ajustées à un projet spécifique.

Télémesure & télécommande et traitement des données

L'Agence est, depuis sa création, profondément engagée dans la mise au point de normes de télémesure & télécommande (TTC) et de traitement de données. La principale cause en est le besoin de garantir que les différents projets sont en liaison, de façon normalisée, avec les systèmes de soutien sol de pré-lancement et de post-lancement de l'Agence. La contrainte principale a été, pour de nombreux projets, la nécessité d'obtenir un soutien de post-lancement par des sources autres que l'ESA, en particulier par la NASA, ce qui assure ainsi la compatibilité des normes de l'ESA avec celles de la NASA. Ces normes sont également disponibles à titre de guides pour l'industrie pendant la conception et la mise au point des éléments du segment spatial et du segment sol.

Une série de groupes de travail ont été créés avec pour responsabilité globale la mise en forme d'accords concernant les normes de télémesure & télécommande et de traitement des données.

Ces groupes sont:

- le Groupe de travail NASA/ESA (NEWG), chargé d'établir la compatibilité des normes entre les deux agences;
- la Commission d'Approbation des Normes (STAB), chargé d'établir, en collaboration étroite entre l'ESOC et l'ESTEC, un ensemble de normes ESA;
- le Groupe de travail ESA/Eurospace concernant le traitement des données à bord, qui sert de forum de discussion avec l'industrie.

Ces groupes de travail s'appuient aussi bien sur des études internes que sur des contrats externes, qui ou bien produisent des normes ou bien étudient des points techniques particuliers qui doivent être résolus préalablement à l'approbation des normes.

Les activités de l'Agence concernant la définition et la mise au point des normes peuvent en fait être classées, chronologiquement, en trois générations, à savoir:

Génération 0: jusqu'à 1970, l'ESA adoptait les normes de la NASA.

Génération 1: jusqu'à 1980, l'engagement croissant de l'ESA dans de nouveaux programmes d'applications tels que les télécommunication et la météorologie, conduisit à la définition de sous-ensembles spécifiques à l'ESA des normes de la NASA, avec pour objectif d'introduire des systèmes embarqués normalisés.

Génération 2: après 1983, le progrès de la technologie, ainsi que l'utilisation croissante de microprocesseurs, ont conduit à la mise en forme de normes internationales de télémesure et de télécommande par paquets. L'objectif était de favoriser au maximum l'assistance mutuelle entre l'ESA et les autres agences pour contrôler ou recueillir les données de satellite, de façon à offir les meilleures conditions d'accès et de diffusion des données spatiales.

Chronologie des principaux événements.

Génération 0 (époque NASA)	Jusqu'à ~1970	Utilisation des normes NASA – Télémesure modulée par impulsions codées (PCM – Norme de commande de tonalité numérique
Génération 1	1971	Introduction de la norme ESA de télécommande PCM (pour utilisation sur Cos-B) – Première norme publiée par l'ESA.
	1972	Introduction de la norme ESA de télémesure PCM (sous-ensemble NASA + spécification des interfaces de bord).
(Normes ESA formant un sous-ensemble spécial des normes NASA)	1974	Première édition de la norme ESA pour la mesure de distance – Système de mesure par tonalité, spécifique à l'ESA, pour permettre une opération simultanée de télécommande et de repérage en VHF uniquement.
	1978	Mise à jour de la norme ESA de télémesure PCM (TTCA-02) – Suppression des interfaces de bord des premières éditions – Introduction de blocs de données plus longs Mise à jour de la norme ESA de télécommande PCM (TTCA-01) – Suppression des interfaces de bord – Admission d'un mode de traitement des blocs de données – Horloge AM facultative
	1978	Introduction d'une norme de codage de correction d'erreurs définissant un débit égal à un demi-code circonvolutif.
	1978	Introduction d'interfaces de traitement de données de bord définissant un bus OBDH, et d'une gamme d'interfaces numériques et analogiques correspondants.
	1979	Mise à jour de la norme de mesure de distance; définition des rapports, des principes et de la norme de modulation par tonalité des répéteurs en VHF et en bande S.
	1979	Introduction d'un système de distribution systématique pour l'industrie et les centres nationaux.
	1981	Radiofréquence et Modulation – Définition de tous les systèmes.
	1981	Premier groupe de travail NASA/ESA – Décision de se concentrer sur la télémesure par paquets.
Génération 2	Oct. 1981	Accord sur un 'Livre blanc' de télémesure et de codage par paquets.
	Mai 1982	Accord sur des 'Livres rouges' de télémesure et de codage par paquets – Travail initial sur la télécommande et la modulation radiofréquence NASA/ESA.
(Normes internationales)	1982	Formation d'un 'Comité consultatif des organismes internationaux sur les normes des données spatiales' (CCSDS) comprenant le Japon, l'ISRO, etc.
	1983	Adoption par le CCSDS des directives du NEWG sur la télémesure et le codage par paquets.


european space agency
agence spatiale européenne
esa
B73325732D
ONE AU

L'économie des activités spatiales

Les activités spatiales en Europe se sont concentrées, depuis le tout début, sur trois pôles d'intérêt:

- l'aspect '*utilisation*', c'est-à-dire le type de recherche ou de service offert par les véhicules spatiaux (recherche scientifique, télécommunications, météorologie, etc.);
- l'aspect '*technologique*', c'est-à-dire la possibilité d'élaborer des technologies de pointe avec des retombées dans des domaines autres que l'espace (structures légères, systèmes et composants de télécommunications, etc.);
- et, enfin, l'aspect '*industriel*', c'est-à-dire le développement des capacités d'un certain nombre de firmes dans ce domaine nouveau. C'est cet aspect qui est analysé ici pour montrer comment l'effort spatial européen a été décisif pour atteindre les deux objectifs que sont:
  - la coopération internationale au niveau technique et, éventuellement, commercial (avec des retombées dans des secteurs autres que l'espace);
  - la création de lieux de travail hautement qualifiés, aussi bien au niveau technique qu'au niveau gestion.

Les trois facteurs qui sont à l'origine de cette évolution sont:

- premièrement, un programme spatial assez important pour créer les occasions de travail qui ont permis à l'industrie d'accumuler les connaissances techniques nécessaires et de devenir compétitive sur le marché mondial;
- ensuite, une structure de gestion assez souple du côté du client (ESA) pour faire face à des programmes de recherche et développement exigeant des délais de réaction rapides et un large champ d'intervention;
- enfin, une organisation de l'industrie dans un environnement international autorisant, de la part des fournisseurs, toute la souplesse et l'efficacité que réclame ce genre de projets.

Les consortiums industriels qui ont été formés dans les années 70 pour répondre au défi représenté par les projets spatiaux ont fortement marqué de leur empreinte l'effort spatial industriel européen; même si l'idée n'était pas neuve, son application cohérente à des projets spatiaux et le développement qui en est résulté méritent une analyse plus détaillée.

L'un des principaux outils par lesquels l'Agence s'efforce de réaliser ses objectifs est son budget ou plutôt ses budgets. Depuis les programmes simplement obligatoires des premières années, les budgets ont évolué vers une plus grande complexité pour répondre au désir des Etats membres de voir s'instaurer un système de financement souple et compatible avec les nouveaux programmes de l'Agence. On compte à l'heure actuelle pas moins d'une quarantaine de budgets répartis sur une grande variété de programmes.

ROLE DES CONSORTIUMS

On entend ici par 'consortium' une association commerciale de firmes de pays différents qui se sont rapprochées à l'origine sous l'impulsion de l'ESRO durant la période 1968–71. L'intention était d'assurer une coopération durable, c'est-à-dire une coopération survivant à l'achèvement d'un projet isolé, tout en évitant un trop grand déséquilibre dans la répartition du travail entre les Etats membres participant aux programmes de l'Organisation.

L'ESRO se rendit compte qu'il n'était pas possible de confier un grand projet à une seule firme, ni même à un groupe de firmes de la même nationalité, car cela aurait constitué une répartition injuste du travail entre les divers pays participant au projet, ce qui aurait créé des frictions entre les Etats membres. Une solution raisonnable semblait être de convaincre l'industrie européenne de s'associer au sein de consortiums internationaux, équilibrés aussi bien du point de vue du savoir-faire technique que de la représentation géographique.

Si ces associations, qui nécessitaient de toute évidence un certain effort supplémentaire de gestion et une unification des procédures de travail, pouvaient se perpétuer de telle sorte que les frais généraux supplémentaires inévitables soient réduits au minimum, l'ESRO pourrait avoir recours à un processus de sélection orienté dans un sens plus technique, laissant à l'industrie la tâche délicate de répartir le travail de manière à éviter des mécontentements et des crises politiques chaque fois qu'un contrat majeur était adjugé.

Cela, c'était la théorie, et dans une certaine mesure elle fonctionna dans la pratique. Naturellement, les idées d'origine ont évolué; nous expliquons plus loin pourquoi et de quelle façon, et où nous en sommes maintenant.

FORMATION DES CONSORTIUMS

Le besoin d'avoir des groupes structurés capables de prendre la pleine responsabilité de grands projets de l'ESRO fut défini dès les premières années d'existence de l'Organisation (1964–66) et résulta principalement de deux faits:

- le besoin d'assurer une répartition géographique équilibrée des contrats entre les Etats membres;
- le besoin d'utiliser des compétences rares dans un domaine nouveau à une échelle européenne, évitant un double emploi coûteux de ces compétences dans plusieurs pays.

Ce n'est véritablement qu'en 1966, avec le démarrage du programme de satellite TD, que l'industrie spatiale européenne, guidée d'une manière non officielle par l'ESRO, commença à se regrouper dans des organisations aux liens peu serrés qui devaient prendre ultérieurement un caractère plus officiel avec des structures de gestion permanentes et des procédures bien définies pour la répartition des tâches entre les membres du consortium.

A l'origine, deux groupes furent formés:

Le groupe MESH, comprenant: Matra (F), Erno (D), SAAB (S) et HSD (UK).

Le groupe EST: Elliott (UK), Thomson (F), CGE-FIAR (I), Fokker (NL) et ASEA (S).

Le groupe EST, en partie du fait de l'adjudication du projet TD à son concurrent, eut un développement plus ou moins inégal. D'autres firmes vinrent le rejoindre, et un autre groupe fut finalement formé, incluant en son sein les firmes aérospatiales qui n'étaient pas encore membres d'un consortium.

Lorsque démarra, en 1970, le programme Cos-B, trois groupes existaient donc sur le marché:

MESH: avec MATRA (F), ERNO (D), SAAB (S), HSD (UK) et FIAT (I).

EST: avec Elliott (Marconi) (UK), Thomson (F), Dornier (D), CGE-FIAR (I) Fokker (NL) et Contraves (CH).

CESAR, avec: BAC (UK), SNIAS (F), MBB (D), Selenia (I) et ETCA (B).

Au début, les groupes EST et CESAR n'étaient pas bien équilibrés quant à leurs spécialisations techniques, EST comportant un trop grand nombre de firmes électroniques (Marconi, Thomson, CGE-FIAR), et CESAR un trop grand nombre de firmes aérospatiales (BAC, MBB, SNIAS).

Les intéressés résolurent eux-mêmes le problème en organisant un échange, Marconi et BAC prenant la place l'un de l'autre dans les consortiums respectifs. Cette structure s'accompagna d'un changement de nom des consortiums et, depuis 1971, la composition de ces trois consortiums MESH, STAR (anciennement EST) et COSMOS (antérieurement CESAR) est restée plus ou moins la même. Leur composition et leurs réalisations sont résumées au Tableau 1.



Tableau 1 — Les Consortiums aérospatiaux européens: constitution, composition et principales réalisations

Dénomination	**MESH**: Matra, Erno, SAAB, Hawker Siddeley	**STAR**: satellites de télécom., d'applications et recherche	**COSMOS**: conception et fabrication de satellites
Constitution	Oct. 1966: consortium à 4 firmes Déc. 1969: adjonction de FIAT	1969: création d'EST Sept. 1970: évolution vers STAR	1969: création du consortium 'BAC' 1970: création de CESAR Nov. 1970: évolution vers COSMOS
Pays représentés	Matra (F) ERNO (D) HSD (auj. BADG Stevenage) (UK) FIAT (auj. Aeritalia) (I) Fokker (NL) INTA (E) SAAB-Scania (S)	Thomson-CSF & SEP (F) Dornier (D) BAC (auj. BADG Bristol) (UK) FIAR & Laben (I) Sener (E) L M Ericsson (S) Contraves (CH)	SNIAS & SAT (F) MBB & Siemens* (D) MSDS (UK) Selenia (I) ETCA (B) Casa (E)
Assist. techn./relations commerciales	TRW Systems (USA)	Hughes Space & Comm. (USA)	Aeronautic Ford (USA)
Principales réalisations	TD-1A Spacelab (consortium élargi) OTS, Marots/Marecs, ECS Télecom 1 (programme français) L-Sat (BADG Stevenage + consortium ad-hoc) Hipparcos	Geos 1 & 2 ISEE-B Télescope spatial (BADG Bristol) ISPM Giotto	Météosat 1 & 2, Préparation de Météosat opérationnel Intelsat V (avec Ford) Exosat (H-Sat) – TV-Sat/TDF (progr. F-D)

* En 1979 Siemens arrêta ses activités spatiales sauf celles concernant les stations sol.

Par suite du rôle que les consortiums ont joué dans la réalisation des projets de l'ESRO, puis de l'ESA, une nette tendance peut être observée dans la succession chronologique de ces projets (Tableau 2). Jusqu'à 1966, les contrats concernant les grands projets allèrent à des firmes isolées conduisant des groupes industriels qui n'avaient pas encore pris la forme de 'consortiums', encore que certains de ces groupes fussent 'de facto' en voie de le devenir. De 1966 à 1974, les contrats concernant les grands projets furent adjugés à des maîtres d'oeuvre représentant des structures de consortium bien définies (même si elles n'étaient pas encore figées). Mais depuis 1974, la tendance a été à une lente désintégration de ces structures. Les contrats concernant Spacelab et Ariane, vu la contribution spécifique et la prédominance d'un Etat membre dans chacun des deux projets, allèrent à des structures industrielles 'ad hoc', qui n'avaient que des liens très lâches avec les consortiums MESH et COSMOS. Exosat représenta la première tentative de mise en oeuvre d'une nouvelle procédure d'approvisionnement aux termes de laquelle l'Agence fait choix d'un maître d'oeuvre qui choisit ensuite ses sous-traitants par voie d'appel d'offre en coopération avec l'Agence. Cette nouvelle procédure a été appliquée encore récemment pour les satellites ISPM, L-Sat et Hipparcos.

On comprend que, comme d'ailleurs tout ce qui tend à accroître la concurrence, la chose ait été plutôt fraîchement accueillie par les industriels. Un certain nombre

Tableau 2 — Le rôle des Consortiums dans les projets ESRO/ESA

Période	Projets	Chef de file	Consortium	Remarques
1964–1968	ESRO-2	HSD	(MESH)	Consortiums non encore constitués
	ESRO-1	LCT	–	
	ESRO-4	HSD	(MESH)	
	HEOS A1	Junkers	(COSMOS)	
	HEOS A2	Junkers	(COSMOS)	
1966–1974	TD	Matra	MESH	Contrats avec le contractant principal qui représente un consortium
	OTS	HSD	MESH	
	Marots (plate-forme)	HSD	MESH	
	Geos	BAC	STAR	
	ISEE	Dornier	STAR	
	Cos-B	MBB	CESAR/COSMOS	
	Météosat	SNIAS	COSMOS	
	Marots (charge utile)	MSDS	COSMOS	
Après 1974	Spacelab	ERNO	–	Contrats avec le contractant principal qui ne représente pas (ou qui ne représente que partiellement) un consortium
	S/L IPS	Dornier	–	
	Ariane	SNIAS	–	
	Exosat	MBB	(COSMOS)	
	Télescope spatial	Lockheed + Perkin Elmer (US)	BADG (Pan. solaires) Dornier (PDA) BADG (Mod. chambre)	
	ISPM	Dornier	(STAR)	
	ECS	BADG Stevenage	MESH	
	Marecs	BADG Stevenage + MSDS	(MESH)	
	Sirio 2	CNA	–	
	L-Sat	BADG Stevenage	–	
	Giotto	BADG Stevenage	(STAR)	
	Hipparcos	Matra	(MESH)	

de circonstances ont obligé l'ESA à accepter, dans un passé récent, des marchés moins ouverts à la concurrence au niveau des systèmes, tout en faisant largement jouer celle-ci au niveau des sous-systèmes et des matériels; il est néanmoins évident que la politique d'approvisionnement de l'Agence continuera à faire appel au maximum à la concurrence, autant que le permettent les contraintes imposées par les circonstances et la mise en oeuvre d'une politique industrielle visant à développer et à protéger l'industrie spatiale des petits pays.

TENDANCES DANS L'EVOLUTION DES CONSORTIUMS

La notion de consortium a permis à l'ESRO et à l'ESA d'améliorer la répartition géographique des contrats, la coopération internationale a fonctionné dans le domaine de la technologie de pointe et les petits pays n'ont pas été laissés de côté, mais il y a encore des défauts dans le système. Les plus grosses firmes voulaient des responsabilités de maître d'oeuvre, mais cela dut être fait par rotation car il n'y avait pas assez de projets pour contenter tout le monde en même temps. Certains pays de refusant à perdre certaines spécialisations, une surcapacité se développa dans certaines disciplines. Même les prévisions les plus optimistes concernant la demande mondiale de systèmes et de composants spatiaux européens n'arrivaient pas à hauteur de la capacité disponible dans certains secteurs. L'application stricte de la règle de répartition géographique s'est révélée coûteuse et a favorisé un certain manque de dynamisme chez les industriels, certaines firmes se sentant protégées du fait de leur appartenance à tel Etat membre ou en raison de la structure même des consortiums.

Aussi, la structure des consortiums, qui était relativement rigide à l'origine, dut-elle s'assouplir, en commençant au niveau des matériels, du bas vers le haut. Dans le cadre de l'Agence elle-même, les groupes industriels Ariane et Spacelab ne furent formés que dans une mesure toute relative à partir de consortiums pré-existants. Certains programmes nationaux obligèrent, pour des raisons techniques, à répartir le travail à l'échelon international, et pas toujours sur les mêmes bases que les consortiums de l'Agence. Des groupements commerciaux fondés sur le partage des risques et connus sous le nom de 'groupements d'intérêt économique' (GIE), se sont constitués pour des marchés spécifiques: Eurosatellite pour les satellites de télécommunications lourds, Arianespace pour la commercialisation du lanceur Ariane et des services de lancement correspondants, Satcom International pour les satellites de télécommunications plus petits, en sont des exemples types.

En dehors des liens entre l'ESA et la NASA, les firmes américaines sont devenues de plus en plus conscientes du potentiel de l'industrie européenne, et il en est résulté un certain nombre d'opérations conjointes: Matra et Comsat General pour la commercialisation du matériel AMRT au sol; Arianespace et Grumman Aerospace pour l'exploitation du lanceur Ariane aux Etats-Unis; SNIAS et Ford Aerospace pour les télécommunications; MSDS et Ford Aerospace, d'une part, BADG et Hughes d'autre part, pour une nouvelle génération de satellites maritimes, pour n'en citer que quelques-unes.

SITUATION PRESENTE DES STRUCTURES INDUSTRIELLES

L'état actuel de la coopération entre les principaux maîtres d'oeuvre industriels dans le domaine spatial en Europe peut être résumé comme suit:

- Un groupe industriel centré sur l'association SNIAS-MBB, et spécialisé dans les satellites de télécommunications lourds de la classe Ariane (TV-Sat/TDF), les satellites d'observation de la Terre (programme Météosat) ainsi que le lanceur Ariane.
- Un groupe industriel articulé autour du consortium MESH et spécialisé dans les satellites de télécommunications de la classe demi-Ariane ou Delta (OTS, ECS, Marecs), les missions d'observation de la Terre (radiomètre de Météosat, SPOT) et les vols spatiaux à bord de véhicules habités (Spacelab).
- Un groupe industriel, moins étroitement associé que les deux autres (mais continuant l'association STAR), spécialisé dans les satellites scientifiques et, en particulier, dans les entreprises conjointes avec des partenaires américains.
- Plusieurs groupes nationaux spécialisés dans les stations sol pour systèmes de télécommunications, par exemple: Telspace en France; AEG

Tableau 3 — L'évolution des groupements de firmes aérospatiales européennes

et Siemens en Allemagne; STS en Italie; BTM en Belgique; Philips aux Pays-Bas; Marconi Communication Systems, Cable & Wireless au Royaume-Uni.

Cette présentation nécessairement simplifiée ne prend pas en compte des discordances apparentes dues:

- à des fusions de firmes aérospatiales qui appartenaient à différents groupes concurrents et qui font maintenant partie de la même firme, créant ainsi des liens de loyauté commerciale d'un groupe vis-à-vis de deux consortiums concurrents;
- au fait que des programmes nationaux ont été confiés à des consortiums 'internationaux'.

CONCLUSIONS

Il est clair que l'évolution par laquelle l'industrie européene, sous l'impulsion de l'ESRO/ELDO et de l'actuelle Agence spatiale européenne, a été conduite à coopérer à la commercialisation de systèmes spatiaux est désormais acquise.

De plus en plus, les structures industrielles qui ont été mises en place pour résoudre des problèmes propres à l'Agence (répartition géographique, coopération internationale) évoluent vers des structures à caractère commercial, avec des buts et des caractéristiques à long terme.

On peut mesurer la souplesse de l'industrie spatiale européenne au fait que:

- les anciennes structures n'ont pas été démantelées, mais sont maintenues en place pour continuer à pourvoir aux besoins de l'Agence,
- les nouvelles structures sont assez diversifiées pour assurer une présence européenne de premier plan sur un marché en expansion rapide, grâce:
  - d'une part, à des associations technico-commerciales européennes antérieurement développées;
  - d'autre part, à des associations nouvellement mises sur pied entre l'Europe et les Etats-Unis chaque fois que des considérations d'opportunité technique et de marché le justifient.

L'ESA et les utilisateurs

SCIENCE

Il y a vingt ans, il n'existait pas de 'communauté d'utilisateurs' dans le domaine de l'espace. Il y avait bien sûr un certain nombre de scientifiques qui avaient des idées sur l'exploration de l'espace, mais le fossé entre l'imagination et le réalisme financier était énorme et, par conséquent, seule une partie minime du programme scientifique européen qui était prévu à l'origine put être réalisée.

Un autre facteur à prendre en considération est que les occasions de vol scientifique sont offertes gratuitement. Or, la nature humaine est ainsi faite que nous sommes beaucoup plus vigilants et économes si nous devons payer de notre propre poche, et comme ce n'est pas le cas pour les programmes de l'ESA, il n'est que tout naturel que ces projets deviennent de plus en plus ambitieux du point de vue scientifique, technique et financier. Cependant, il faut être conscient que le programme scientifique comporte un plafond qui, malheureusement, se

traduit par une stricte limitation du champ d'application des grands programmes. Cela conduit à une diminution des occasions de vol pour les scientifiques européens. Deux solutions sont actuellement explorées:

- une augmentation du budget scientifique,
- un retour à des missions moins complexes.

En revanche, le choix de missions scientifiques est aujourd'hui bien organisé sous les auspices du Conseil directeur du programmes scientifique de l'ESA.

A un stade antérieur, il avait été suggéré que des relations contractuelles devaient être nouées entre les expérimentateurs et l'Agence; cela aboutit presque à une révolte des milieux scientifiques. Dans les projets récents, la mise au point des expériences scientifiques a été prise en charge par l'Agence, ce qui permet de mieux harmoniser celles-ci avec la mise au point des satellites.

METEOROLOGIE

D'abord introduit par la France à titre de programme national, le projet de météorologie se situait à mi-chemin entre la science et les applications. Mais à cette époque existait déjà un programme de recherche météorologique mondiale (USA, Japon, URSS, Europe) avec des communautés d'utilisateurs motivées qui étaient organisées pour répondre à des besoins nationaux différents, ces utilisateurs bénéficiant largement de fonds affectés à la recherche scientifique. Le programme s'avéra un tel succès que les utilisateurs décidèrent de l'élargir sur leurs propres fonds. On a là un bon exemple d'investissements fondamentaux dans des activités spatiales qui ont débouché sur de nouvelles utilisations.

Les relations entre l'ESA et les utilisateurs ont bien entendu subi une modification pour le futur programme opérationnel: l'Agence offrira des services qui ne seront pas financés par des subventions mais par les utilisateurs. Des accords contractuels définissant les risques de l'une et l'autre partie furent ainsi conclus en 1983. Sur des programmes autres que scientifiques, l'utilisateur est ainsi devenu un client de l'Agence.

TELECOMMUNICATIONS

Dans le domaine des télécommunications, c'étaient dans le passé les administrations des PTT qui, en raison de leur monopole, représentaient l'essentiel des utilisateurs. A la différence des scientifiques et des météorologues, les PTT sont solidement structurés et ont l'expérience de la coopération internationale. Mais étant donné qu'elles doivent fournir des services constants et fiables, elles avaient tendance à beaucoup se méfier des aventures technologiques. Il fallut un certain effort de persuasion pour utiliser le satellite OTS de l'ESA à des fins expérimentales, mais son succès aida à 'rompre la glace'.

Des progrès importants ont été accomplis ces dernières années; les PTT ont compris où allait la technologie. Elles sont maintenant bien organisées pour ce qui regarde l'utilisation de l'espace dans les télécommunications. C'est ainsi que les trois organismes suivants ont passé des accords avec l'Agence en tant que clients de ses produits:

- INTELSAT, pour les services du lanceur Ariane



Signature de l'Arrangement ECS en 1979 par M. Roy Gibson, Directeur général de l'ESA, et M. Gérard Théry (à droite), Dr. gén. des PTT français, agissant au nom d'EUTELSAT Intérimaire.

- INMARSAT, pour les satellites Marecs lancés par Ariane
- EUTELSAT, pour les satellites ECS lancés par Ariane.

La fourniture des services du lanceur Ariane à INTELSAT a pour origine la série de promotion d'Ariane, dont la commercialisation est maintenant prise en charge par Arianespace, ce qui fait que l'ESA, de promotrice, est devenue utilisatrice.

En ce qui concerne INMARSAT et EUTELSAT, l'Agence a conclu des accords de crédit-bail qui couvrent la différence entre le coût de mise au point réel de ces satellites et le prix de base. Il est clair que pour les projets de la seconde génération – qui doivent être introduits par ces deux organisations lorsque les satellites précédents auront rempli leur mission – l'industrie aura besoin de devenir plus indépendante du soutien de l'ESA. Le rôle de l'Agence sera alors de mettre au point de nouvelles technologies, de concevoir des systèmes en vue d'applications nouvelles, et de conseiller les clients.

TRANSPORT SPATIAL

Spacelab vient immédiatement à l'esprit lorsqu'on parle de transport spatial. Les considérations relatives aux utilisateurs revêtent ici un double aspect. Premièrement, la NASA s'est engagée à acheter un ou plusieurs exemplaires du Laboratoire spatial après sa mise au point réussie en Europe. Des négociations difficiles ont abouti à la commande d'un seul exemplaire par la NASA. Deuxièmement, nous devons prendre en considération les relations avec la communauté des utilisateurs de ce vaisseau spatial. Il faut dire que les utilisateurs n'ont pas manifesté autant d'intérêt qu'on pouvait l'espérer. La crise économique qui secoue le monde entier et les retards du programme de la 'Navette' ont certainement joué un rôle. De même, un formidable processus d'éducation doit être lancé pour convaincre les scientifiques, l'industrie et les autres parties prenantes de l'utilité d'une occasion aussi unique. Priorité doit être donnée à la préparation des utilisateurs aux occasions d'utilisation de l'espace. En effet la

technologie a évolué si rapidement que l'on n'arrive plus à la suivre. Il en est de même pour d'autres applications de la 'Navette', telles que la plate-forme Eureca.

La réussite du vol Spacelab-1 encouragera probablement la communauté des utilisateurs à chercher de nouvelles applications. L'utilisation de l'apesanteur pour des applications industrielles en est encore au début de sa phase expérimentale. L'ESA a un rôle important à jouer à ce stade pour effectuer une réelle percée. L'industrialisation ultérieure sera, bien entendu, du ressort des utilisateurs.

Une évolution similaire a eu lieu pour Ariane. Les quatre premiers lancements expérimentaux d'Ariane 1 furent suivis par la série de promotion, placée sous la responsabilité de l'Agence. Celle-ci a réussi à vendre à INTELSAT trois lancements d'Ariane, résultat remarquable quand on songe que ces commandes furent passées à un stade de mise au point relativement précoce du lanceur. Ces ventes furent à la base de la commercialisation d'Ariane, dont la responsabilité a été transférée à Arianespace, à la fin de la 'série de promotion'.

UTILISATEURS EXTERIEURS

Au cours de ses vingt années d'existence, l'ESA a acquis une expérience considérable dans les programmes spatiaux. Elle dispose de nombreux moyens et installations d'essais qui sont sans équivalent en Europe. Elle possède d'autre part un personnel expérimenté et à l'esprit international.

Il est donc normal que ses services soient de plus en plus demandés à l'extérieur, que ce soit:

- par des Etats membres,
- par des clients non européens,
- par des entités commerciales.

A condition de pouvoir opérer dans les limites du personnel dont elle dispose, et que le travail ne soit pas incompatible avec ses propres exigences, l'Agence offre ses services dans le but de promouvoir l'industrie spatiale européenne.

PERSPECTIVES D'AVENIR

L'Agence travaille actuellement à définir ses programmes à long terme. Il est évident que les aspects concernant les utilisateurs jouent un rôle majeur dans cette gestation, et que des programmes valant plusieurs millions d'unités de compte ne sauraient être entrepris s'ils ne présentent pas un intérêt évident pour les utilisateurs. Cet aspect 'utilisateurs' deviendra de plus en plus prédominant dans les programmes futurs.

Gestion de grands programmes spatiaux

Les problèmes rencontrés par l'Agence spatiale européenne dans la gestion de grands programmes spatiaux, depuis l'époque des pionniers jusqu'à l'heure actuelle, sont dans la majorité des cas, communs à toutes les agences ayant à faire face à des développements majeurs dans la technologie de pointe. Un équilibre doit être trouvé entre l'excellence technique et l'emploi rationnel des ressources disponibles, qu'elles soient exprimées en temps, en argent ou en personnel. Le désir des utilisateurs du système d'obtenir des performances sans

cesse améliorées doit être mis en balance avec le souci tout aussi respectable des fournisseurs de travailler efficacement et donc avec profit. La tendance professionnelle de l'ingénieur d'études de l'Agence à relever des défauts dans les résultats du contractant industriel doit être conciliée avec le droit du contractant à exercer les responsabilités qui lui sont confiées.

Il n'est donc pas surprenant que, dans ses premiers programmes, l'ESRO se soit inspiré de l'expérience et des pratiques de gestion des différentes instances nationales, et en particulier celles de la NASA qui était alors relativement jeune. Dès l'abord, le l'ESRO fut également confronté à des problèmes supplémentaires, qui lui étaient plus ou moins propres et qui découlaient de sa dimension européenne. Aujourd'hui comme hier, l'Agence est là pour pourvoir aux besoins d'une communauté d'utilisateurs, surtout ceux des scientifiques et des organismes de télécommunications, et elle est soumise aux directives de ses Etats membres. L'industrie européenne, habituée à travailler dans un cadre essentiellement national, dut apprendre, sous l'égide de l'Agence, à coopérer au sein d'une Europe qui faisait à peine surface en tant qu'entité. De nouvelles technologies n'étaient pas plutôt mises au point qu'elles devaient être partagées. Des modalités commerciales et financières inédites durent être imaginées, et une politique industrielle à une échelle transnationale dut être créée et mise en oeuvre.

LE REGLEMENT DES CONTRATS DE L'ESA

La politique globale actuelle d'approvisionnement de l'Agence est exposée dans l'article 4 du Règlement des contrats qui fut adopté par le Conseil en 1979. Les contrats doivent impérativement être adjugés sur la base d'une combinaison optimale entre l'économie de coût et l'excellence technique, tout en prenant en compte les contraintes de la politique industrielle. La qualité technique et la rentabilité dépendent au premier chef de la qualité et du réalisme des exigences imposées par l'Agence et des conditions dans lesquelles il est fait appel aux offres de l'industrie. La qualité et l'incidence économique des soumissions est évaluée, d'une manière aussi objective que possible, par une procédure exhaustive qui implique un large éventail de connaissances techniques, dont plus de la moitié relève de la compétence d'un personnel qui n'est pas directement concerné par la gestion du contrat qui s'ensuit. Le résultat de cette évaluation est une recommandation quant à l'offre jugée la meilleure. A cela viennent s'ajouter les exigences de la politique industrielle, qui est du ressort du Comité du même nom. C'est ce Comité qui approuve initialement le mode d'approvisionnement proposé, et qui décide en particulier si le contrat doit être mis en concurrence ou adjugé par négociation directe. Dans la mesure du possible, la mise en concurrence est de rigueur (article 5 du Règlement des contrats). Ce fut, en fait, la norme pour tous les programmes initiaux. Mais les dernières années ont vu se développer une situation dans laquelle des programmes de plus en plus importants sont adjugés par négociation directe. Trois facteurs principaux ont contribué à cette évolution. Le premier est que, dans certains secteurs, notamment les télécommunications, un groupe industriel particulier est parvenu à un tel niveau d'expérience qu'on ne saurait raisonnablement s'attendre à ce qu'un autre groupe fasse une offre plus séduisante dans la même 'lignée' que les projets antérieurs. Deuxièmement, l'existence de projets dits spéciaux, limités à certains Etats membres, dont l'un

apporte une contribution prédominante, implique que le contrat de maître d'oeuvre pour ces projets doit être adjugé à l'intérieur de ce même Etat. Troisièmement, il y a eu une tendance des divers maîtres d'oeuvre potentiels, à l'intérieur de chaque pays, à fusionner les uns avec les autres, avec ce résultat qu'il y a maintenant deux et non plus trois consortiums industriels stables en Europe, avec certains regroupements spéciaux pour des applications particulières.

La décision finale relative à l'adjudication d'un contrat incombe, dans le cas des projets majeurs, au 'Comité de la Politique Industrielle', et prend en compte non seulement le coût et l'excellence technique tels qu'ils résultent de l'évaluation, mais aussi les exigences inhérentes à la politique industrielle. Il s'agit en l'occurrence de faire en sorte que le travail soit réparti entre les Etats participants en proportion de leur contribution, que ce soit d'une manière cumulative pour les programmes du 'budget général', ou d'une manière spécifique dans le cas d'un 'programme spécial'. Les contraintes de cette répartition géographique ou de ce 'juste retour' sont connues avant que les appels d'offres soient lancés, aussi y a-t-il une responsabilité du point de vue gestion à les prendre en compte autant que possible dans l'établissement de la structure générale du programme, au point même de recommander ou d'imposer à l'occasion une solution particulière du point de vue technique ou administratif. Les exigences de la politique industrielle ont joué un rôle important dans la création de consortiums stables, rassemblant des connaissances techniques à travers les Etats membres, avec des schémas et des styles de travail de plus en plus familiers. Cela a, à son tour, contribué à la gestion efficace de projets isolés.

LA GESTION PAR PHASE

Une des bases fondamentales de la gestion d'un grand programme est la subdivision du travail en plusieurs phases distinctes – étude de faisabilité, conception, mise au point et fabrication, l'Agence se réservant le droit de décider s'il faut ou non passer à chaque phase successive, en fonction des résultats de la phase qui précède. Les premiers projets de l'ESRO suivaient un modèle établi par la NASA, mais avec le temps les variantes nécessaires pour répondre au nouveau type de programme et aux circonstances particulières à l'Europe, furent formulées. L'approche qui est aujourd'hui considérée comme classique fut appliquée à la plupart des programmes scientifiques et des premiers programmes d'applications: on démontrait tout d'abord la faisabilité et l'utilité du projet et, une fois celui-ci approuvé, il y avait une phase de définition par appel d'offres. Cette phase débouchait sur des offres dont le prix de revient était intégralement chiffré, à partir d'une conception détaillée au niveau du système et des sous-systèmes. Un choix était fait, et un contrat de mise au point et de fabrication pouvait alors être adjugé à un consortium. L'avantage était qu'on pouvait avoir un haut degré de confiance dans la conception ainsi évaluée. Les inconvénients principaux étaient que le dialogue sur les matières techniques entre l'Agence et l'industrie était restreint au cours de la période de mise en concurrence, et que les coûts industriels se trouvaient doublés pour l'ensemble de la phase de conception. Comme les programmes devenaient de plus en plus ambitieux et coûteux, on décida de scinder en deux la phase de conception, dont la première moitié resta sous la

forme concurrentielle, le choix d'un maître d'oeuvre ayant lieu avant d'entamer la conception détaillée des sous-systèmes. Un certain degré de concurrence fut ainsi maintenu, mais les travaux de conception détaillée furent affranchis des contraintes formelles de communication. Cette procédure eut également des avantages inattendus en permettant, par exemple, de passer commande de composants haute fiabilité à très long délai de livraison dès avant le début de la mise au point et de la fabrication, et en facilitant le choix final des sous-traitants dans un cadre concurrentiel offrant toute transparence pour l'Agence.



Signature de la Convention EUMETSAT par le Dr. A. Dunod, Directeur de l'Institut météorologique suisse.

LA POLITIQUE DES PRIX

La politique suivie en la matière par l'ESA pour ses grands programmes à diverses époques reflète le développement des compétences et de l'expérience respectives de l'Agence et de l'industrie en l'espace de vingt ans, ainsi que l'évolution des relations entre l'une et l'autre. En termes simples, un prix du type 'remboursement du coût' peut être considéré comme indiquant un certain degré d'incertitude technique, un manque d'expérience, un désir du client de conserver une solide maîtrise de l'avancement des travaux, et une tendance à privilégier l'excellence technique par rapport aux contraintes budgétaires. En revance un prix ferme implique maturité technique, conception claire, indépendance, autorité et volonté de prendre des risques de la part du fournisseur, avec un client qui se satisfait d'un produit adéquat dans le cadre du budget imparti.

Les premiers contrats de satellites scientifiques, avec une charge utile fournie par un groupement de scientifiques indépendants qui ajoutait un degré d'incertitude, furent tous adjugés selon le principe du remboursement des dépenses au niveau du système – certains sous-systèmes, et ultérieurement tous les sous-systèmes, faisant l'objet d'un prix fixe. L'Agence mit au point et affina des procédures élaborées pour l'approbation des bases d'évaluation des coûts, ainsi que pour le suivi des coûts, des délais et de l'avancement des projets. Ces procédures nécessitaient tout un système de compte rendu de la part de l'industrie et un effort important de la part de l'équipe de projet de l'Agence. Cette surveillance fut acceptée par l'industrie, qui courait un risque peu important pour une récompense quasi assurée, et qui reconnut le capital de connaissances techniques investi dans l'Agence. Avec l'avènement des programmes d'applications, une approche neuve fut tentée. Le but avoué de l'Agence était de mettre l'industrie européenne en mesure de voler de ses propres ailes sur un marché mondial, et ceci n'était possible que si elle pouvait offrir des systèmes complets à prix ferme. La mise au point initiale une fois réalisée, une production en série, ou bien de nouveaux produits étroitement dérivés du matériel existant, devenaient nécessaires. L'ensemble du satellite, y compris sa charge utile, était confié à un seul et même maître d'oeuvre. Le seul intérêt de l'utilisateur final était l'obtention de performances spécifiées à un prix connu, et non l'amélioration éventuelle des performances et des résultats scientifiques. Cette démarche permit à l'Agence de desserrer sa surveillance et de simplifier ses procédures de gestion, en laissant à l'industrie une plus grande autonomie.

Ces dernières années ont vu un échange d'idées mutuellement profitable entre l'approche 'scientifique' et l'approche 'commerciale'. Des programmes scientifiques ont dans certains cas été adjugés à prix ferme. Des charges utiles

expérimentales ont été mises au point sous la responsabilité de l'Agence (Exosat) ou du maître d'oeuvre du satellite (Hipparcos). Lorsqu'il existe des interfaces complexes avec des tiers, comme avec la NASA pour le 'Télescope spatial', les efforts de prise en charge de ces interfaces sont précisés, et dans la mesure du possible, leur coût est chiffré séparément. En même temps, il s'est avéré qu'il n'était pas toujours possible d'avoir pleinement recours à la technique des 'mains libres' pour les programmes d'applications. La nécessité de faire progresser rapidement l'état de la technique afin de conserver un attrait commercial signifiait qu'une mise au point avancée devait être réalisée pour partie dans le cadre du programme de satellite au lieu de rester entièrement confinée dans un programme technologique distinct. Certains secteurs d'activité, tels que l'intégration et les essais, ont obstinément conservé un coût incertain, si bien que ce ne fut que dans une réelle production en série, comme celle d'ECS, que le risque put être réparti d'une manière réaliste sur plusieurs exemplaires à prix ferme. La structure industrielle complexe que requiert un programme européen se prête mal à la fixation d'un prix ferme et définitif avec la certitude qui convient, et la seule ampleur d'un programme tel que Spacelab entraîne des risques de pertes financières qui seraient inacceptables pour l'industrie.

LE SYSTEME D'INTERESSEMENT AUX PERFORMANCES

Un instrument majeur utilisé par l'Agence pour assurer à la fois la livraison en temps voulu et la qualité des performances d'un satellite est le système d'intéressement aux performances, en vertu duquel le bénéfice potentiel du contractant se trouve réduit ou augmenté proportionnellement à ses performances mesurées selon des critères préétablis. Les éléments qui sont généralement pris en compte sont la date effective de livraison par rapport à la date prévue, les performances techniques telles qu'elles sont démontrées par les essais au sol, et enfin les performances en orbite, y compris la durée de vie utile. Cette dernière revêt une importance particulière pour les programmes d'applications, où la durée d'utilisation est un facteur commercial de première importance. Or on sait que les satellites scientifiques ont eu tendance à durer plus longtemps que prévu. Une caractéristique essentielle des systèmes d'intéressement utilisés par l'Agence, qui sont parmi les plus perfectionnées qui soient en matière d'approvisionnement, consiste à mettre l'accent sur les résultats atteints au cours de la mise au point et de la fabrication, les germes du succès ou de l'échec étant semés à ce moment-là. On peut discuter de la mesure dans laquelle les stimulants utilisés par l'Agence ont contribué aux résultats techniques, assurément bons, obtenus dans ses programmes mais peu nombreux sont ceux qui mettent leur rôle en doute. Les systèmes d'intéressement aux performances sont utilisés aussi bien dans les contrats à prix ferme que dans les contrats en remboursement des dépenses. Des mesures supplémentaires sont nécessaires pour inciter le titulaire d'un contrat de ce dernier type à maintenir les efforts qu'il déploie à un niveau raisonnable, proportionnel aux résultats demandés, au temps disponible et au budget imparti. A cette fin, l'Agence a mis au point des modalités d'intéressement avec partage des coûts plus complexes que celles qui sont en usage ailleurs. Pour l'essentiel, un coût-objectif réaliste est convenu avec l'industrie, et une formule est établie par laquelle le contractant se voit atrribuer une prime proportionnelle à tout abaissement du coût réel par rapport au coût-

objectif, mais contribue en revanche à tout dépassement de coût en proportion de celui-ci. Les résultats obtenus en matière de performances et de coûts sont combinés pour éviter toute disproportion entre les uns et les autres.

Les budgets spatiaux

Dans tout organisme, les budgets sont les instruments de la politique: leur structure, leur contenu sont à la mesure des résultats que l'on veut atteindre. C'est dire que l'examen rétrospectif de leur évolution donne une fidèle image de la volonté politique dont ils portent toujours l'empreinte.

Evolution

Dans les dix premières années de son existence, l'Europe spatiale a quelque peu tâtonné avant de prendre conscience que les objectifs qu'elle s'était assignés passaient par la voie unitaire de la concentration de ses moyens notamment financiers.

ESRO

Dès son origine, la structure budgétaire de l'ESRO s'inspira des modèles des législations financières nationales (allemande, britannique et française), c'est-à-dire de celles des principaux contributeurs. Le budget de cette époque retraçait, outre les dépenses classiques de personnel et de fonctionnement, les dépenses industrielles propres à chaque projet du programme scientifique, lequel constituait alors le seul programme de l'Organisation. Ce budget, entièrement obligatoire et exprimé en francs français, était financé par un barème unique de contributions fondé sur le revenu national.

Deux événements vinrent modifier cette construction: l'un en 1969 lorsque la dévaluation du franc français rendit opportune l'adoption de l'unité de compte, l'autre en 1971 quand l'idée d'associer au programme scientifique des programmes à la carte' se développa avec l'apparition du premier 'paquet de 'programmes'. Dès lors, le pluralisme des barèmes de participation imposait la mise en place d'un mécanisme de réimputation des frais généraux. Ainsi se forgèrent progressivement des instruments de prévision et de gestion appropriés à l'accroissement sensible du volume des dotations budgétaires annuelles.

ELDO

Parallèlement se développaient les efforts de l'ELDO pour construire le lanceur Europa. Le budget de l'Organisation, exprimé en unités de compte, comprenait à l'origine des dépenses techniques pour le développement du lanceur lourd Europa I (90% du total) réparties selon les travaux dont chaque pays assurait l'exécution ainsi que des crédits pour les dépenses administratives et les programmes futurs. Ces budgets étaient approuvés à la majorité spéciale des deux tiers des votes affirmatifs dont les contributions s'élevaient à 85%. Ces modalités résultaient essentiellement de la responsabilité contractuelle qu'exerçait alors directement chacun des Etats pour l'étage ou les équipements qu'il réalisait et dont les paiements pouvaient être déduits de ses contributions.

Il fallut attendre 1967 et la décision de réaliser Europa II pour que le Secrétariat de l'ELDO ait le droit de passer directement les contrats avec les sociétés des Etats membres. En 1971, une distinction apparut ensuite entre les frais communs (dépenses administratives et d'installations de lancement) et les frais de

programmes qui tendaient à se diversifier (Europa III, étude préliminaire d'un remorqueur spatial dans le cadre du programme post-Apollo).

Par ailleurs, la Conférence spatiale européenne cherchait non sans peine à définir le continu d'une coopération européenne harmonisée et plus efficace pendant que le développement des lanceurs Europa se trouvait confronté à des difficultés techniques majeures qui devaient entraîner l'arrêt des programmes en 1972. C'est dans ce contexte de crise que s'exprima en 1973 la volonté commune d'où naquirent les grands programmes dans le cadre de l'Agence. Ceux-là, en dépit du premier choc pétrolier et des difficultés économiques du moment, trouvèrent dans les Gouvernements des Etats membres une volonté constante de les mener à terme.

Ainsi, le budget annuel exprimé en MUC constants tripla pratiquement en l'espace de deux ans pour atteindre dès 1976, comme le montre la statistique publiée en Annexe, un niveau de 877 MUC (conditions économiques 1983) qui s'est maintenu au-dessus de 800 MUC jusqu'en 1980.

Cette période est caractérisée budgétairement par quatre phénomènes:

- la présence de fonds importants destinés à alimenter les grands programmes issus des Arrangements de 1973;
- une adaptation remarquable aux conditions économiques difficiles permettant de supporter la vague inflationniste qui déferlait alors sur l'Europe;
- une tendance à s'écarter, pour les programmes facultatifs, de la règle préconisée par la Convention de retenir en première approche une participation calquée sur celle du barème fondé sur le revenu national, tendance significative d'une certaine répartition des tâches au sein des grands contributeurs de l'Agence;
- l'amorce d'une période de mutation très perceptible au niveau des choix budgétaires.

Structure

C'est ce dernier phénomène qui paraît le plus intéressant de développer pour montrer que l'ESA possède une structure d'accueil suffisamment large et souple pour surmonter les diverses contraintes financières de la conjoncture.

On assite en effet:

- à une diversification importante des budgets correspondant à la nécessité soit de prévoir des budgets préparatoires à la définition de programmes dont l'ordre de grandeur, du fait de l'avance technologique, ne cesse de croître, soit d'établir des budgets relais pour assurer le démarrage de ces programmes dans les conditions les plus satisfaisantes;
- à la mise en place de phases de développement ambitieuses, en matière de lanceurs notamment;
- à un transfert de responsabilités en matière opérationnelle dans les secteurs où les avantages marchands s'affirmaient.

Dans le domaine des *satellites de télécommunications* par exemple, grâce aux efforts déployés par l'Agence, les industries spatiales européennes se trouvaient parfaitement en mesure de pénétrer directement dans le large marché mondial qui se développait.

De même, en matière de *lanceurs européens*, la création d'Arianespace et la mission de commercialisation de cette Société ne furent possibles que parce que la communauté spatiale européenne garantissait un rôle d'accompagnement substantiel en finançant non seulement l'infrastructure lourde des moyens de lancement en Guyane mais aussi les développements ultérieurs des lanceurs Ariane jusqu'à ses versions les plus puissantes.

Ces deux exemples démontreraient, s'il en était besoin, que l'Agence remplit avec satisfaction son rôle de transfert de responsabilités et de promotion de l'innovation. Loin d'être un simple organisme de redistribution de subventions gouvernementales, l'Agence évite la dispersion des efforts en maximalisant les actions des industries qui sont à la pointe de l'avance technologique et de la production des systèmes spatiaux.

Contenu

Pour autant, et bien que son rôle en matière opérationnelle soit secondaire, le budget de l'Agence est aussi devenu une structure d'accueil permanente ou temporaire *d'activités opérationnelles majeures*. Citons essentiellement la production d'un second modèle de vol du Spacelab, financée totalement par la NASA, les activités INMARSAT et le programme Météosat opérationnel décidé en 1983 dont la dimension (400 MUC (83)) est à la hauteur des objectifs de la communauté météorologique européenne. C'est en effet l'ESA qui assure pour le compte de l'entité EUMETSAT en cours de constitution le démarrage d'un programme complet de trois nouveaux satellites s'échelonnant sur 12 ans en assurant, sans aucune solution de continuité, la mission d'exploitation des satellites placés en orbite au cours des phases préopérationnelles.

Toutes ces actions dans le domaine des applications ou des systèmes de transports spatiaux ont eu pour effet de placer le *programme scientifique* de l'Agence, bien que disposant d'une dotation annuelle de l'ordre de 120 MUC (83), dans une situation relativement défavorable. La protection financière dont jouissait initialement l'enveloppe budgétaire de ce programme s'est progressivement transformée en contrainte en raison du contexte juridique dans lequel se situe le niveau de ressources des activités obligatoires soumis aux règles de l'unanimité.

Pourtant, la communauté scientifique européenne obtient, on le sait, des résultats éclatants; il faut espérer que malgré les difficultés qui s'attachent à l'évaluation économique de leurs retombées, l'Agence trouve dans les prochaines années les moyens financiers adéquats d'une politique de recherche scientifique à la dimension des ambitions de ses chercheurs.

Conclusion

Les structures financières de l'Agence sont capables d'accueillir avec le maximum de souplesse et sous un contrôle budgétaire permanent le foisonnement des programmes suscités par la recherche spatiale et ses applications. L'Agence gère, en effet, aujourd'hui une masse budgétaire annuelle de près d'un milliard de dollars répartie sur plus de quarante programmes. Il ne fait aucun doute que cette faculté d'adaptation est l'un des facteurs privilégiés permettant à la communauté spatiale européenne de confirmer sa capacité de maîtriser le développement futur des systèmes complexes qui vont éclore dans les prochaines décennies.

10



Les relations extérieures

En créant les organisations spatiales européennes, les gouvernements des Etats Membres n'ont pas seulement montré leur souci de participer à des technologies d'avant-garde, ils ont également fait oeuvre politique.

Ils ont décidé que dans un domaine d'avenir prometteur, la solidarité européenne devrait l'emporter sur l'effort national puisque cette solidarité est la condition même de la participation effective des pays européens à l'exploitation des techniques spatiales. En effet, l'argent nécessaire, la capacité technique requise et les perspectives d'utilisation des moyens spatiaux mettent la plupart de ceux-ci hors de portée des pays européens pris individuellement.

L'Agence spatiale européenne constitue ainsi un outil pour la réalisation d'une Europe unie, en quelque sorte une 'Communauté européenne de l'Espace'.

Tout d'abord l'Agence elle-même, avec son personnel et les comités où siègent les représentants des Etats membres, constitue un des creusets où l'Europe se fait peu à peu, où les préoccupations nationalistes doivent faire place à des visions plus larges et plus prometteuses. Toux ceux qui contribuent à la vie de l'Agence ont conscience d'appartenir à un ensemble européen dont l'existence est indispensable à la réalisation des ambitions que les pays européens peuvent avoir dans le domaine spatial et ne peuvent réaliser à l'échelon national.

* * *

Et au-delà de sa vocation qui est de contribuer à la construction européenne, l'ESA ne peut garder son rang au sein du 'Club de l'espace' sans maintenir des relations étroites avec les 'superpuissances' spatiales et des pays qui ont des capacités ou des ambitions spatiales. Un dialogue constant s'est établi également avec des organisations internationales qui s'intéressent, de près ou de loin, à l'exploration de l'espace, en particulier avec les Nations Unies et la Communauté européenne.

Par ailleurs, en tant qu'entité européenne, l'Agence continue à promouvoir la coopération politique et économique entre les pays industriels et les pays en voie de développement dont plusieurs parmi ces derniers, s'ils disposaient de l'infrastructure nécessaire, pourraient utiliser avec profit les applications de l'espace.

Dans l'exploitation de l'espace comme dans d'autres domaines, une large coopération entre pays industrialisés et pays en voie de développement s'impose de plus en plus.

L'Agence – creuset de l'Europe spatiale

En finançant un programme de satellites scientifiques, l'Agence a suscité la création de nombreux groupes scientifiques européens qui ont pour mission de fixer des objectifs communs et de partager pour les différentes disciplines intéressées les ressources disponibles selon des critères scientifiques et non nationalistes.

Dans le domaine industriel, les consortiums internationaux qui se sont créés pour répondre aux exigences des appels d'offres de l'Agence, ont développé les habitudes de travail en commun, assuré une certaine complémentarité des compétences à l'échelle de l'Europe et favorisé une préférence communautaire qui – en dehors de tout protectionnisme – doit caractériser une entité telle que l'Europe.

Les programmes de satellites d'applications ont suscité le regroupement de leurs utilisateurs. Les administrations des PTT des pays d'Europe ont créé EUTELSAT pour gérer les satellites de télécommunications européens, les services météorologiques ont créé EUMETSAT pour prendre soin du système opérationnel de satellites météorologiques. ARIANESPACE regroupe les industriels européens qui ont la responsabilité de commercialiser le lanceur Ariane.

Dans un proche avenir, les programmes de télédétection devraient également entraîner la fédération des utilisateurs européens si l'on veut éviter les doubles emplois et les dépenses inutiles. Aucun pays européen n'a sans doute les moyens de se doter de toutes les capacités de traitement des données de télédétection, mais une utilisation rationnelle de l'ensemble des compétences disponibles en Europe devrait permettre à celle-ci d'occuper une place de premier rang dans l'exploitation de cette technologie d'avant-garde.

Ainsi la réalisation de programmes spatiaux a-t-elle permis de renforcer dans de nombreux domaines les structures européennes et offert de nombreuses occasions de coopération entre les administrations, laboratoires, industries et services publics des pays de l'Europe.

De plus, en raison des implications des programmes spatiaux dans des domaines d'activités nombreux et variés, l'Agence est appelée à développer ses contacts avec de nombreux organismes européens qui sont susceptibles d'être affectés par ses activités. On citera seulement les Communautés Européennes qui élaborent des politiques dans des domaines tels que la science, la technologie, les télécommunications, l'informatique, etc.

Dans de nombreux cas, l'expérience acquise par l'Agence spatiale européenne et les compétences qui existent en son sein pourraient être utilisées pour favoriser la mise en oeuvre concrète de ces politiques et pour tirer parti des complémentarités qui existent.

Il apparaît donc qu'au cours des deux décennies écoulées, l'Europe en créant les Organisations spatiales s'est dotée d'institutions qui constituent des jalons dans la construction d'une politique européenne et il lui appartient pour l'avenir d'en faire le plus large usage en utilisant les potentialités existantes.



Signature d'une Convention entre Arianespace (représenté par M. F. d'Allest) et l'ESA (représenté par M. E. Quistgaard) au siège de l'Agence le 15 mai 1981.

L'EMERGENCE LES PROGRAMMES OPERATIONNELS

Le succès même des programmes de l'Agence entraîne l'apparition de nombreuses activités spatiales en Europe dont certaines se développent en dehors du cadre de l'ESA.

Le problème qui est apparu avec l'émergence relativement récente des programmes opérationnels devrait prendre davantage d'importance au cours des années à venir. En effet, au cours des dix dernières années le budget de l'ESA a représenté un pourcentage élevé et généralement supérieur à 50% du chiffre d'affaires dans le domaine spatial en Europe, ce qui avait pour corollaire que la participation aux programmes de l'Agence constituait pour les Etats membres l'essentiel de leur activité dans ce secteur.

Dans les années à venir, les activités spatiales devraient largement se développer sous la forme de programmes opérationnels nationaux, européens ou à réaliser pour le compte d'Etats ou d'organisations non européeennes. Beaucoup de ces activités se développeront en dehors de l'Agence et l'industrie devra montrer sa compétitivité en prenant sa part du marché mondial. Il en résulte que le budget de l'Agence représentera à l'avenir un pourcentage décroissant d'un chiffre d'affaires d'activités spatiales en rapide expansion.

Cette situation nouvelle devrait constituer la preuve du succès des programmes menés à bien qui ont développé la compétitivité de l'Industrie européenne et mis celle-ci en mesure d'occuper une partie du marché mondial des satellites.

Il convient aujourd'hui de se demander comment concilier les éléments suivants:

- liberté de l'Industrie;
- poursuite en commun des effort de Recherche et Développement;
- rôle de l'Agence vis-à-vis des programmes opérationnels et des marchés d'exportation.

L'Agence spatiale européenne a pour mission d'élaborer une politique spatiale européenne à long terme. Cet objectif fixé par la Convention n'implique pas nécessairement que toute activité spatiale se déroule dans le cadre de l'Agence mais que l'ensemble des programmes développés soient coordonnés au sein de celle-ci.

Les rédacteurs de la Convention avaient à l'esprit que les programmes nationaux devraient être intégrés dans le programme de l'Agence et l'expérience a montré que cet objectif était difficile à atteindre en particulier avec les programmes opérationnels.

Ce n'est donc que d'une manière partielle que l'Agence a pu remplir sa mission et un problème essentiel pour l'avenir des activités de l'Agence n'a pas encore trouvé de solution satisfaisante.

Si tout le monde reconnaît qu'il y a une nécessité évidente à 'européaniser' les programmes pré-opérationnels et si d'autre part, il est généralement admis que les projets spatiaux opérationnels ne devraient pas être soumis aux mêmes contraintes que les programmes de recherche et développement, comment peut-on assurer néanmoins que tous les Etats ayant participé aux efforts de recherche aient la possibilité d'être associés aux bénéfices issus des programmes opérationnels et que d'autre part les Européens ne se présentent pas sur les marchés extérieurs en ordre dispersé?

Cette question a été résolue de manière satisfaisante pour des programmes opérationnels européens tels que ECS ou Météosat grâce à la constitution des entités EUTELSAT et EUMETSAT, mais le problème reste posé pour les activités d'exportation de produits spatiaux.

Deux résolutions consacrées l'une aux systèmes opérationnels et l'autre aux relations extérieures de l'Agence ont été adoptées par le Conseil siégeant au niveau des Ministres en 1977. Les textes prévoient le rôle que peut jouer l'Agence tant pour la réalisation de satellites opérationnels que pour la promotion des produits spatiaux européens.

L'expérience acquise au cours des dernières années et les perspectives qui existent actuellement montrent la nécessité de traiter ces questions avec une souplesse qui permette de conjuguer les avantages de l'apport technologique en provenance de programmes communautaires et ceux qui résultent de la libre entreprise et de la concurrence entre les industriels européens.

De la même manière il convient d'encourager les initiatives des industriels, mais il faut éviter que la concurrence entre entreprises européennes n'affaiblissent celles-ci lorsqu'elles rencontrent sur les marchés mondiaux des firmes américaines et bientôt japonaises qui, grâce aux politiques fermement établies et appliquées de leurs pays, ont un avantage certain sur les industriels des différents pays européens.

Il apparaît ainsi que l'Agence a connu un succès considérable en réalisant les programmes qui lui ont été confiés, mais que la mise en oeuvre de dispositions tout aussi fondamentales de la Convention concernant le rôle de coordination et d'élaboration de politique spatiale s'est heurtée à la fois au conservatisme des



Rencontre ESA/NASA à l'occasion de la signature à Washington du Protocole d'Accord Spacelab. (Assis à gauche: Dr A. Hocker, Dir. gén. de l'ESRO; à droite: Dr J.C. Fletcher, Administrateur de la NASA).

administrations nationales et à l'évolution rapide due à la nature même des activités spatiales.

L'EUROPE DANS LE CONTEXTE MONDIAL

Au début des années 1960, seules les deux super-puissances avaient des activités dans le domaine spatial et leur monopole semblait assuré pour longtemps.

Le travail de qualité des scientifiques et des ingénieurs européens, l'esprit de coopération des gouvernements européens et leur volonté politique d'être présents dans la conquête spatiale ont permis à l'Europe en 20 ans de se tailler une place importante dans l'exploitation des techniques spatiales.

Partout dans le monde, les programmes de l'Agence spatiale européenne sont tenus en compte dans toute évaluation des réalisations spatiales et pour les décennies à venir le rôle de l'Europe pourrait devenir de plus en plus important:

Malgré le handicap que représente, sur le plan de la masse budgétaire disponible, le fait de ne développer que des programmes 'pour des buts exclusivement pacifiques', les pays européens ont mis à leur actif des réalisations qui tant sur le plan scientifique que sur celui des applications atteignent la qualité des programmes les plus ambitieux.

Ces résultats ne sont pas toujours appréciés à leur juste valeur par manque d'information mais il est néanmoins impressionnant de constater combien – à l'extérieur de l'Agence – la réalité et la consistance de l'Europe spatiale sont perçues et prises en considération.

De nombreux pays qui souhaitent avoir des activités spatiales ou utiliser les produits spatiaux se réjouissent de voir s'élargir le nombre d'organisations avec lesquelles ils peuvent coopérer et, dans chaque enceinte internationale où les


Le 16 janvier 1981, au siège de l'ESA à Paris, l'ambassadeur P. Jankowitsch (représentant permanent de l'Autriche à l'OCDE) remet au Directeur général de l'ESA une lettre informant ce dernier de l'entrée en vigueur, à partir du 1er avril 1981, de l'Accord d'association de l'Autriche et de l'Agence.

activités de l'Agence sont présentes, celles-ci suscitent beaucoup d'intérêt, de questions et d'espoir.

Les relations de l'Agence avec des Etats non membres ou des Organisations Internationales sont de plusieurs types.

Tout d'abord, l'Agence a développé avec la NASA une coopération qui s'étend à de nombreux programmes scientifiques et au programme de la Navette spatiale; ces programmes ont pris une importance telle que l'Europe est devennue pour les Etats-Unis – et réciproquement – le partenaire le plus important dans le domaine spatial.

Il convient de rappeler qu'au début de l'ESRO, la NASA a fourni une assistance qui a beaucoup facilité le démarrage des programmes de satellites scientifiques. Depuis, les relations se sont établies sur le plan de l'intérêt mutuel qui, dans de nombreux secteurs et en particulier dans les grands programmes de vols habités, semble commander qu'à l'avenir encore la coopération entre les deux Agences se développe encore davantage.

L'Agence coopère également avec d'autres pays qui ont entrepris des activités spatiales. Des accords de coopération ont été conclus avec l'Académie des Sciences de l'URSS, les Agences spatiales du Japon et de l'Inde. Des réunions périodiques permettent d'échanger des informations sur les activités, d'assurer la coordination de certains programmes qui ont un caractère complémentaire comme par exemple les projets russe, japonais et européen développés à l'occasion du passage de la comète de Halley en 1986.

Enfin dans certains cas, des activités de coopération sont entreprises telles que l'échange de personnel, l'accueil de stagiaires et, dans le cas de l'Inde, le lancement du satellite expérimental de télécommunications Apple à bord d'un vol expérimental d'Ariane.

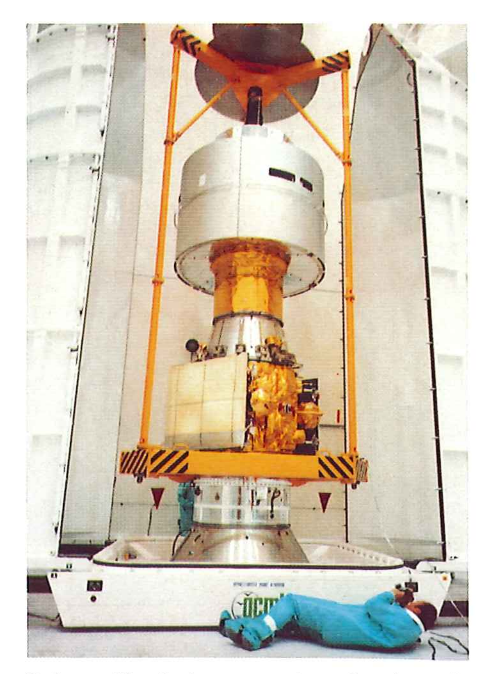
Certains programmes ont par nature une vocation mondiale tels que les satellites de météorologie. Une coordination exemplaire a été établie depuis de nombreuses années avec les Etats-Unis, le Japon, l'URSS et l'Inde, en étroite association avec l'Organisation Météorologique Mondiale pour assurer au mieux l'efficacité des satellites météorologiques géostationnaires de la Veille Météorologique Mondiale à laquelle l'ESA participe grâce aux satellites Météosat.

Parmi les Etats non membres de l'Agence, des relations particulièrement étroites ont été établies tout d'abord avec l'Autriche et la Norvège qui ont le statut d'Etats associés et dont on peut espérer qu'ils deviendront prochainement membres à part entière de l'Agence, et ensuite avec le Canada qui participe de manière substantielle à plusieurs programmes importants de l'Agence et avec lequel un accord de coopération est en vigueur depuis 1979.

L'Agence a également des relations informelles avec de nombreux autres Etats auxquels elle s'efforce de faire connaître par différents moyens les réalisations spatiales de l'Europe, afin de promouvoir les activités de l'Industrie européenne dans ce domaine.

Par ailleurs, l'Agence a développé des relations avec celles des Organisations internationales qui ont soit un caractère européen, soit un intérêt pour les activités spatiales.

Les relations avec le Conseil de l'Europe sont institutionnalisées puisqu'une Résolution adoptée lors de la signature de la Convention prévoit la présentation à l'Assemblée Parlementaire du Conseil de l'Europe du Rapport annuel de l'Agence. A de nombreuses reprises l'Assemblée Parlementaire a approuvé des Rapports sur les programmes spatiaux et des Résolutions et Recommandations indiquant le souci de cette Assemblée de voir l'Europe unie avoir une politique spatiale plus ambitieuse et plus conforme aux besoins et aux capacités des Etats membres.



Préparatifs de lancement en tandem du satellite indien de télécommunication APPLE et du satellite Météosat-2 de l'ESA par la fusée Ariane en 1981.

En parallèle l'Assemblée Parlementaire de l'Union de l'Europe Occidentale a maintes fois souligné l'importance pour l'avenir de l'Europe de programmes spatiaux importants et cohérents.

Plus récemment le Parlement Européen a insisté sur la nécessité d'une politique spatiale qui constituerait un facteur important pour aider les Etats à sortir de la crise économique actuelle grâce au développement et à l'utilisation en commun de technologies de pointe.

La Commission des Communautés Européennes et l'Agence ont établi de nombreuses relations de travail et recherchent ensemble les domaines dans lesquels leurs activités sont complémentaires de manière à éviter les doubles emplois et à valoriser leurs efforts respectifs.

En Europe toujours, l'Agence poursuit un dialogue suivi avec des Organisations telles que EUTELSAT, EUMETSAT, ARIANESPACE, dont la création résulte des programmes entrepris par l'Agence et qui peuvent encore compter sur sa compétence technique pour définir et mettre en oeuvre leurs futurs programmes.

Nombreuses sont les organisations de la famille des Nations-Unies qui s'intéressent aux programmes spatiaux. C'est ainsi que l'Agence a un statut d'observateur auprès du Comité de l'Espace extra-atmosphérique, ainsi qu'auprès de l'UIT et de l'OMM. Elle a des relations de travail également avec l'UNESCO, l'UNDRO et la FAO.

Les Etats membres de l'Agence coordonnent leur attitude à l'égard des questions spatiales traitées dans ces différentes instances dans le cadre du Comité consultatif des Relations internationales (IRAC), conformément à l'Article II de la Convention. L'Exécutif s'efforce d'apporter son soutien aux activités spatiales entreprises par ces Organisations en organisant avec elles des cours de formation, en accueillant des stagiaires, en participant aux réunions qu'elles organisent sur des questions spatiales.

L'ESA & LE TIERS MONDE

Les programmes de satellites d'applications que développent les Organisations spatiales présentent sans doute une grande utilité pour les pays industrialisés, mais il apparaît de plus en plus que ces mêmes programmes peuvent constituer pour les pays du tiers monde un facteur important de développement économique et social.

De nombreux obstacles empêchent cependant les pays en voie de développement de bénéficier des techniques spatiales: on peut mentionner non seulement le coût des systèmes spatiaux mais aussi le manque de techniciens, et surtout la

crainte de voir les pays industrialisés utiliser à leur propre profit les techniques spatiales.

Il apparaît donc qu'une utilisation intensive des satellites par les pays en voie de développement ne peut résulter d'une activité strictement commerciale, mais seulement d'une large coopération entre pays développés et pays en voie de développement en vertu de laquelle ceux-ci seraient assurés de bénéficier réellement de ces techniques nouvelles, d'une assistance financière pour les mettre en oeuvre et de cours de formation pour leurs techniciens et cadres administratifs, afin qu'ils puissent atteindre une réelle autonomie de décision et de gestion. C'est dans cette perspective que l'Agence a développé, de manière très modeste, ses relations avec un certain nombre de pays du tiers monde.

L'Agence n'a pas pour vocation d'apporter une aide financière à ces pays; d'autres organismes européens existent à cet effet, et principalement le Fonds Européen de Développement de la Commission des Communautés Européennes. Elle a par contre la compétence requise pour contribuer à la définition des besoins de ces pays et à la mise en oeuvre de programmes coopératifs qui pourraient être décidés. A ce titre, elle a déjà participé à diverses études demandées par des organismes du tiers monde.

Dans ce domaine vaste et ambitieux, le rôle de l'Agence reste nécessairement limité mais, avec la coopération d'autres organisations européennes, telles que la Commission des Communautés Européennes et les organismes nationaux compétents, elle pourrait utilement contribuer à la mise en oeuvre concrète d'une politique européenne de coopération avec le tiers monde pour assurer le développement socio-économique de celui-ci dans le respect de son indépendance.

A titre d'exemple, on mentionnera les contacts fructueux que l'Agence a établis avec des organisations africaines telles que la Commission économique pour l'Afrique, l'Union panafricaine des Télécommunications, l'Union africaine des Postes & Télécommunications, le Conseil africain de Télédétection et l'Association pour la Sécurité de la Navigation aérienne en Afrique.

Il serait utile qu'à l'avenir, les gouvernements des Etats membres qui ont une politique d'aide au tiers monde prennent en considération les possibilités offertes dans ce domaine par les satellites d'application ainsi que la compétence acquise par l'Europe et concentrée notamment au sein de l'Agence spatiale européenne.

Les développements technologiques coûteux qui ont été financés par les pays européens leur permettent de proposer au tiers monde des programmes coopératifs favorables à la fois au développement de la technologie de pointe des pays développés et au développement socio-économique des pays en voie de développement.

A ce jour, cette possibilité n'a pas encore été suffisamment prise en considération mais les prochaines années devraient offrir de nouvelles perspectives à cet égard.



Stand de l'ESRO au Salon aéronautique de Farnborough en 1966.

Informer le public

LES ACTIVITES DE RELATIONS PUBLIQUES

Dans les tout premiers jours de l'ESRO et de l'ELDO, l'accent fut mis sur le recrutement et la formation du personnel, la création des laboratoires et des installations d'essai, des stations au sol et d'un centre de contrôle, tous nécessaires pour donner vie aux plans et projets qui avaient déjà été formés dans l'esprit de ceux qui avaient travaillé à créer les deux Organisations. A l'époque, les activités de relations publiques jouaient un rôle très secondaire – il y avait peu à annoncer et encore moins à présenter.

Vers la fin des années 1960 la situation commença à évoluer. En mai 1968 ESRO-2 fut le premier satellite de l'ESRO à être lancé avec succès, et, avant la fin de la même année, deux autres satellites étaient en orbite. Le moment était venu de créer des services officiels de relations publiques ayant pour tâche de faire connaître les activités des deux Organisations tant au grand public qu'aux spécialistes en Europe et dans le monde entier. Un premier pas fut fait en 1969 avec la publication de quinze dossiers de presse distribués par l'intermédiaire d'un réseau de correspondants dans les Etats membres. Des conférences et des

réunions de presse eurent lieu, et 40 journalistes, représentant la plupart des Etats membres, furent conviés à une tournée de presse dans les principaux centres de l'ESRO. Les photothèques et les filmothèques furent créées d'une manière rationnelle, et enfin les activités spatiales européennes furent présentées au public dans un certain nombre de manifestations nationales et internationales, au Bourget, à Amsterdam, à Liège et à Vienne.

Depuis ces débuts plutôt timides, les activités ont fait boule de neige. Dans les années 70 il y eut de nouveaux programmes scientifiques et d'applications européens majeurs; dans le domaine du transport spatial la décision fut prise d'entreprendre les programmes Spacelab et Ariane; l'ESA vit le jour, de facto, en 1975. Tout cela, combiné avec l'intérêt croissant manifesté par le public pour les activités spatiales en général, confronta le service des relations publiques à une charge de travail sans cesse croissante.

Les lancements d'Ariane, depuis 1979, sont un centre d'intérêt pour la presse. La première mission Spacelab (novembre 1983) a donné une nouvelle dimension aux tâches de relations publiques. Pour la toute première fois, l'ESA et la NASA ont organisé conjointement toutes leurs activités RP; de nouveaux centres communs ont été créés en Europe et aux Etats-Unis pour assurer la plus large couverture possible de la première aventure de l'ESA dans le vol spatial habité, et toute la documentation RP été préparée en commun.

Quelques chiffres concernant les activités de 1983 vont illustrer ce point. Une bonne cinquantaine de dossiers de presse ont été publiés – en fait plus d'un par semaine – et de nombreuses visites et conférences de presse ont été organisées. L'ESA a été présente à trois expositions majeures – la Rassegna Elettronica à Rome, le Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace au Bourget et Telecom 83 à Genève – ainsi qu'à un certain nombre de manifestations moins importantes. En outre, beaucoup de travail a été consacré à la préparation de



Quelques stands de l'ESA en 1983: à la Rassegna Elettronica de Rome; à Télécom 83' de Genève; au Salon international de l'Aéronautique & de l'Espace du Bourget.





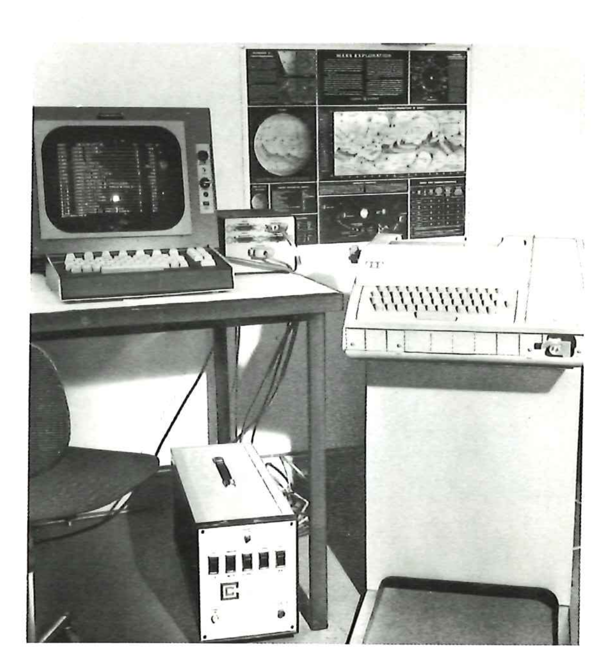
l'exposition Spacelab au Centre européen d'Information de Cologne-Porz, ouvert aussi bien au public qu'à la presse tout au long de la durée de la mission. Un grand nombre de publications nouvelles ont également été lancées, y compris une version revue et mise à jour de la principale brochure RP de l'Agence: 'l'Europe et l'Espace', un dépliant sur le programme opérationnel Météosat: 'Pour la prévision météorologique de demain' et un autre sur la 'Transmission numérique de données par satellites', édité spécialement pour l'exposition Telecom 83. En septembre, un petit livret sur la mission Spacelab 1, dans un nouveau format et une présentation nouvelle, a été publié en anglais, français et allemand. Un film de 25 minutes sur Spacelab a été produit, ainsi qu'un certain nombre de séquences sur des expériences Spacelab. Un film illustrant le programme Marecs est sorti au début de l'année, et le travail de mise à jour d'un programme video sur les activités de l'ESA a commencé et sera prêt à être publié au début de 1984.

Avec l'intérêt croissant manifesté par le public pour ses activités, avec les programmes plus importants et plus excitants prévus pour l'avenir, le service de relations publiques de l'ESA a de nombreuses années de travail intense devant lui. Il continuera, comme par le passé, à s'efforcer de promouvoir l'image de marque de l'ESA en Europe et de rendre ses activités aussi familières à l'homme de la rue que celles de son équivalent américain.

LE SERVICE RESSAISIE DE L'INFORMATION

La Commission préparatoire européenne de Recherche spatiale (COPERS) avait reconnu qu'il y aurait une forte demande pour l'information scientifique et technique une fois qu'un programme spatial suffisant à l'échelle de l'Europe aurait été approuvé. Pendant la période COPERS, un groupe d'experts recommanda l'établissement d'un service informatique européen complet d'information aérospatiale et la négociation d'un accord d'échange d'informations avec la NASA. En 1964, un accord était conclu avec la NASA, et en avril 1965 fut créé le 'Service de Documentation spatiale' (SDS) de l'ESRO/ELDO, premier nom sous lequel il fut connu.





La Salle des ordinateurs d'IRS à l'ESRIN en 1983.

L'équipement du terminal Recon en 1969.

Dès les premiers jours, ce service d'information eut à faire face à des demandes ayant une double origine. Le personnel de l'ESRO et de l'ELDO avait besoin d'une couverture complète de la littérature concernant la recherche et la technologie spatiales. Parallèlement, des institutions publiques, des universités, des centres de recherches aérospatiales, et l'industrie aérospatiale des Etats membres des deux Organisations devaient être desservis. La possibilité de fournir des informations à des organisations d'Etats non membres ne fut pas oubliée, le Conseil de l'ESRO stipulant qu'il devait encourager de telles demandes.

Suite à la création de l'ESA, l'appellation 'Service de Documentation spatiale' ne reflétait plus la gamme extrêmement large de services mis à disposition par ce qui était devenu le plus grand système informatisé d'informations scientifiques et techniques disponible en Europe. Le nouveau nom choisi fut simple mais suffisamment explicite – ce fut le 'Service de Ressaisie de l'Information' ou IRS, basé à l'ESRIN (Frascati, Italie).

L'IRS exerce essentiellement deux types distincts d'activités de traitement de l'information: entrée et sortie. Selon les termes de l'accord d'échange d'informations conclu entre la NASA et l'ESA, l'IRS est chargé d'acquérir un exemplaire de tous les documents publiés dans un quelconque Etat membre de l'ESA qui concerne directement ou indirectement le domaine aérospatial. Un enregistrement bibliographique lisible par ordinateur, comprenant un abrégé, est préparé pour chaque document, ainsi qu'une copie-mère sur microfiche (il s'agit d'une pellicule transparente de 11 cm sur 15 cm portant jusqu'à 98 pages microfilmées) et le tout est envoyé à la NASA pour publication ultérieure dans le journal d'abrégés 'STAR' (Scientific & Technical Aerospace Reports) de la NASA, et incorporation dans la base de données de litérature aérospatiale non classifiée de la NASA.

L'IRS reçoit un exemplaire de la base de données informatisée de la NASA couvrant les publications du monde entier. Cette base de données 'en direct' contient à elle seule plus d'un million de documents remontant à plus de deux décennies. Cependant, la recherche et le développement dans le domaine aérospatial couvrent une gamme immense et imprévisible de disciplines, depuis les techniques d'ingénierie et de propulsion des lanceurs jusqu'aux observations astronomiques, en passant par la conception et le contrôle d'attitude des satellites, les télécommunications, les dispositifs de télédétection et la météorologie. Plus récemment, les sciences de la vie et des matériaux sont entrées dans ce domaine. Afin de couvrir la plus grande partie possible de la vaste littérature aérospatiale, l'IRS maintient sur l'ordinateur de Frascati près de 50 bases de données totalisant plus de 25 millions d'articles. Chaque base de données est mise à jour au moins une fois par mois.

Cette gigantesque réserve de données peut être consultée à distance à partir de n'importe quel Etat membre, et par l'intermédiaire de réseaux internationaux de télécommunications à partir de nombreuses autres parties du monde, y compris de pays aussi éloignés que l'Australie. Un simple terminal ressemblant à une machine à écrire électrique est relié à l'ordinateur par une ligne téléphonique normale. On interroge la base de données en dactylographiant des questions sur le clavier du terminal: l'ordinateur répond soit sur imprimante soit sur écran d'affichage s'il y en a un. Le processus de recherche est rapide puisque la réponse de l'ordinateur est quasi instantanée. Il suffit souvent de quelques minutes pour compléter une recherche qui pourrait prendre plusieurs heures ou même plusieurs jours dans une grande bibliothèque, et pourtant la puissance de l'ordinateur implique qu'un résultat plus complet est obtenu et enregistré sous la forme d'une liste imprimée sans erreur.

Le système informatisé interactif en direct de recherche documentaire (RECON) qui était le précurseur du système ESA-QUEST très sophistiqué utilisé actuellement par l'IRS, fut introduit au début des années 70. Le nombre de clients extérieurs et l'utilisation du système ont augmenté de près de 20% par an en moyenne depuis son introduction. Mais il s'agit là d'une moyenne, et le taux d'augmentation a lui-même augmenté au point que sur les cinq dernières années le trafic a été augmenté de 30% par an. A l'heure actuelle, l'utilisation du système ESA-QUEST double tous les trois ans.

Outre les aspects les plus évidents de mise en mémoire de l'information et de recherche documentaire, l'IRS a développé des services auxiliaires très divers. Ceux-ci comprennent le terminal bi-alphabétique mis au point pour un projet des Nations-Unies, qui est capable de recevoir ou d'afficher aussi bien des caractères arabes que latins. Ce terminal pourrait également être utilisé pour des caractères latins et grecs. Des installations permettant la création de bases de données privées par introduction directe de données, un service de dissémination de données assurant une messagerie électronique entre membres d'un groupe, et une installation appelée DOWNLOAD qui permet à des possesseurs de micro-ordinaterus de transférer des données de l'ordinateur principal de l'IRS dans une mémoire locale de leur micro-ordinateur, ont été introduits ces dernières années.



Quelques specimens des publications scientifiques & techniques de l'ESA.

L'IRS participe par ailleurs au groupe de travail APOLLO – initiative conjointe de la Commission des Communautés européennes, d'EUTELSAT, de la CEPT et de l'ESA – créé pour définir un service de livraison électronique de documents qui prévoit la mise en mémoire de textes complets de documents sous forme numérique en vue de leur transmission immédiate, via satellite, à des points éloignés. Des archives de documents numériques sont projetées pour l'IRS à Frascati.

LES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Dès les débuts de la coopération spatiale, les Etats membres précisèrent dans les Conventions que les résultats scientifiques et techniques devraient être 'publiés ou rendus généralement accessibles de toute autre façon', et qu'il devrait y avoir un 'échange d'informations scientifiques et techniques' (Convention ESA, Art. 3). Au sein de l'ESRO, un 'Service d'Education et d'Information Scientifique' fut créé, et il y eut un service de documentation équivalent à l'ELDO. Aujourd'hui ces services ont été centralisés d'une part dans le 'Service des Publications scientifiques et techniques' et d'autre part, dans le 'Service de Ressaisie de l'Information' décrit cidessus.

Dans les années 60 et au début des années 70, l'accent était mis sur les études de sciences fondamentales et de contrats, les 'Rapports techniques', 'Mémoires scientifiques' et 'Rapports de Contractants' constituant le gros des publications. A côté de cela, le public était tenu au courant par un certain nombre de périodiques:

Revue Technique de l'ELDO (1966–1971), et *Bulletin de l'ESRO* (1966–1968), lesquels furent regroupés dans le *Bulletin ESRO/ELDO* (1968–1974) et la *Revue scientifique et technique ELDO/ESRO* (1971–1974).

Avec l'avènement de l'ESA en 1975, les noms de ces périodiques furent modifiés mais leur objectif subsista, et tous deux se sont révélés de précieuses 'fenêtres' à travers lesquelles le monde pouvait regarder l'ESA. Le *Bulletin de l'ESA* informe tous les trimestres un public non spécialiste mais bien informé dans 99 pays où l'ESA est active, tandis que le *Journal de l'ESA* est la publication savante contenant des monographies et des articles sur les plus récentes recherches technologiques et scientifiques.

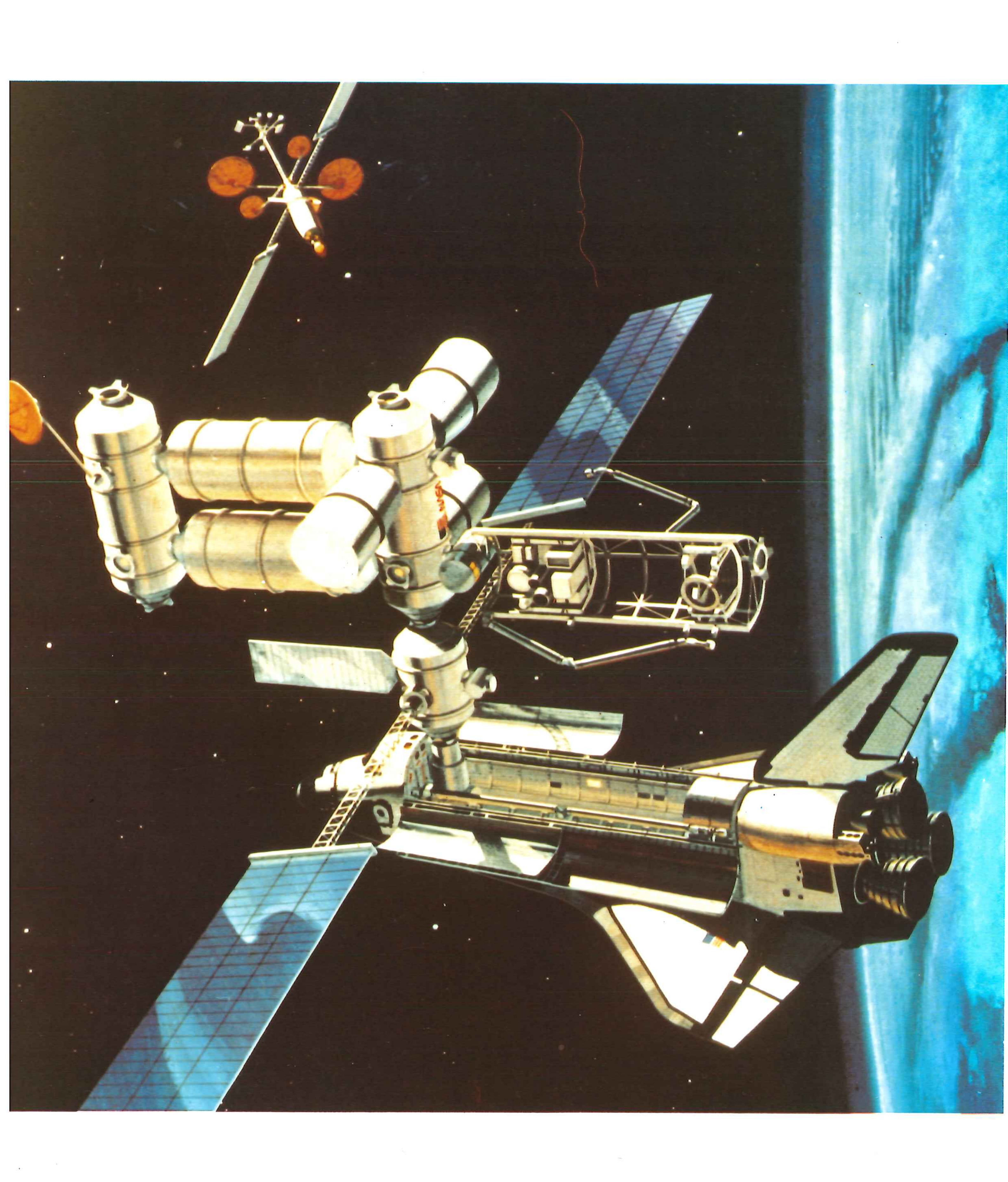
La dissémination rapide de l'information est à l'heure actuelle une nécessité, et l'ESA, en tant que commanditaire unique ou conjoint de nombreuses conférences aérospatiales, a mis au point, au cours des années, un système de publication des comptes rendus de colloques dans un délai de 10 à 12 semaines. Pour faire en sorte que l'industrie dispose des informations les plus récentes sur les procédures, normes et spécifications autorisées, la série PSS a constamment été développée et mise à jour.

Deux publics distincts sont intéressés par les activités spatiales européennes. Les savants et les technologues des disciplines hautement spécialisées sont desservis par les rapports et mémoires scientifiques et techniques, les rapports de contractants, la série des publications spéciales de l'ESA, et la série TRIB (Tribologie). Les lecteurs dont l'intérêt est plus général peuvent se documenter dans les rapports annuels de l'ESA et dans la série BR (Brochures). Cette dernière série fournit également des ouvrages d'introduction aux communautés scientifiques et techniques pour qui l'espace constitue un environnement nouveau – comme par exemple les spécialistes des sciences de la vie et des matériaux.

Enfin, pour répondre à l'intérêt sans cesse croissant du monde pour la télédétection, l'ESA a créé un bulletin trimestriel de huit pages en couleurs intitulé '*Observation de la Terre*'. Son succès permet de supposer que d'autres disciplines feront de même.

Pensant à l'avenir, à l'ère de la publication électronique, non seulement l'ESA est assuré de tenir sa place dans la communauté de la publication scientifique, mais aussi, en partie grâce aux progrès technologiques auxquels elle a contribué, elle peut s'attendre à améliorer aussi bien la qualité que la diffusion de ses publications.

11



Vers l'an 2000 . . .

Jusqu'à présent, la politique de l'ESA en matière de programmes s'élaborait au sein de l'Agence et se concrétisait sous la forme de *plans à moyen terme* mis à jour régulièrement. Un certain nombre d'événements récents font qu'il est maintenant indispensable que l'Agence soumette des propositions en vue d'une *politique spatiale européenne à long terme.*

Ces événements récents, d'ordre politique, qui motivent une politique spatiale européenne, sont:

(a) la décision des Etats-Unis de construire une station spatiale habitée et l'invitation faite par ce pays aux Etats européens de participer à ce programme;

(b) l'initiative prise par l'Allemagne et l'Italie d'étudier un programme de vol habité européen – 'Columbus' – dont ces deux Etats membres proposent l'européanisation.

Ces deux initiatives, qui intéressent l'avenir de la politique spatiale dans son ensemble, ont causé quelques préoccupations quant aux objectifs et aux éléments constitutifs d'un programme spatial européen à long terme cohérent qui reste à définir.

Avant même ces événements récents, la France avait proposé à l'Agence, en vue de son européanisation, la mise au point d'un grand moteur cryogénique, élément essentiel d'un futur lanceur européen. Les décisions concernant ce lanceur doivent être prises en 1985 mais il est évident que les caractéristiques du lanceur seront fonction des objectifs d'une politique spatiale européenne et des intentions de l'Europe à l'égard notamment d'un programme de station spatiale.

Il était admis que les programmes spatiaux avaient pour objectif l'obtention d'avantages scientifiques, technologiques et économiques grâce à des projets scientifiques et d'applications dans les domaines de la science spatiale, de la microgravité, des télécommunications et de l'observation de la Terre. Des systèmes de transport spatial sont manifestement indispensables pour ces diverses activités. Or, des programmes du type 'station spatiale' ou 'grand lanceur européen futur' grèveraient considérablement les ressources consacrées aux activités spatiales en Europe. Il est donc indispensable de prévoir, dès le départ, un important programme d'utilisation des installations nouvelles, lorsque celles-ci seront disponibles, et d'en prévoir le financement. C'est une des raisons pour lesquelles il est non seulement opportun mais absolument indispensable d'examiner les objectifs et les priorités des Etats membres ainsi que les moyens de les intégrer dans un programme cohérent.

En outre, la Convention de l'ESA stipule qu'il appartient à l'Agence de préparer et de définir une politique européenne à long terme; cette politique doit tenir compte non seulement des objectifs techniques mais des possibilités financières. Ces faits montrent que l'Europe doit réagir rapidement tant sur le point de savoir si elle s'engagera ou non sur un programme de vol spatial habité qu'en ce qui concerne sa politique future en matière le lanceurs.

Vue conceptuelle d'une station spatiale future. Certains modules et palettes pourraient être des éléments dérivés du Laboratoire spatial de l'ESA qui vient de faire ses preuves dans l'espace.

La politique spatiale européenne à long terme

1983 a été l'année de la 'moisson', l'année qui a marqué l'aboutissement des principaux programmes entrepris par l'Agence au début des années 70. Cette moisson a été rendue possible grâce aux objectifs fixés, à la politique d'utilisation pacifique de l'espace poursuivie par l'Europe pour atteindre ses objectifs et à la qualité du travail accompli. L'Agence est-elle maintenant parvenue au terme de ses activités ou – comme nous en sommes convaincus – ne s'agit-il que d'une pause? Une pause pendant laquelle l'Europe devra reformuler ses objectifs et mettre au point la nouvelle politique spatiale qui lui permettra le moment venu d'atteindre de nouveaux objectifs.

Avant de chercher à définir des objectifs nouveaux et ambitieux pour la fin du siècle et le programme spatial à long terme nécessaire pour les atteindre, il peut être utile de se reporter au début des années 70 et de considérer ce qui a été réalisé par rapport aux objectifs initiaux.

LES OBJECTIFS FIXES AU DEBUT DES ANNEES 70 ET L'ETAT ACTUEL DES REALISATIONS

A la fin des années 60 et au début des années 70, la situation de l'Europe dans le domaine spatial se présentait très favorablement dans certains secteurs (la science) mais elle était critique dans d'autres (les lanceurs). On s'efforçait à l'époque de porter les capacités spatiales de l'Europe – dans certains secteurs – au même niveau que celles des Etats-Unis. Pour y parvenir on forgea une politique spatiale européenne qui trouva son expression dans la Convention de l'ESA et dans les principaux programmes adoptés à l'époque au moyen des 'Paquets de programmes' no. 1 (1971) et no. 2 (1973) à savoir: Ariane, Spacelab et les satellites d'applications avec les technologies et infrastructures connexes.

Bien que les objectifs sur lesquels se fondait la politique spatiale européenne du début des années 70 n'aient pas été explicitement énoncés et approuvés, on peut rétrospectivement les définir comme suit:

Objectifs politiques
- Montrer que la coopération de l'Europe dans le domaine spatial n'est pas seulement efficace mais qu'elle représente pour notre continent le seul moyen de continuer à participer à la course à l'espace.
- Poursuivre notre coopération avec les Etats-Unis.
- Tout en acquérant notre indépendance en matière de transport spatial.

Objectifs scientifiques
- Permettre à la communauté scientifique européenne de rester à l'avant-garde de la recherche spatiale.

Objectifs techniques
- Aider l'Europe à maîtriser les technologies de pointe en relevant les défis que posent les impératifs à satisfaire dans le domaine de l'ingénierie spatiale.
- Développer en Europe les méthodes et les instruments nécessaires à la gestion de projets très importants et d'une haute complexité.

Objectifs industriels
- Développer la coopération industrielle entre les pays (tout en assurant une

répartition équilibrée des travaux dans les Etats membres de l'ESA), parvenant ainsi à une plus grande efficacité et améliorant les chances de succès sur un marché élargi.

Objectifs économiques

- Promouvoir l'utilisation des technologies spatiales pour un certain nombre d'applications (télécommunications, météorologie, télédétection) et contribuer de la sorte à la prospérité économique de l'Europe.

Les résultats obtenus dans les divers programmes au cours des dix dernières années montrent que ces objectifs ont été dans une large mesure atteints: outre des satellites scientifiques dont les résultats sont très satisfaisants, l'ESA a réalisé les projets Météosat, OTS, Marecs et ECS, comportant la participation de l'Europe à INMARSAT et la création d'EUTELSAT et d'EUMETSAT. Le lanceur Ariane a été mis au point et est maintenant opérationnel; le Spacelab a été réalisé et a effectué son premier vol. Des groupements industriels ont été mis sur pied et dotés de nouveaux moyens de gestion et des réalisations ont été enregistrées dans les technologies axées sur l'espace et autres technologies de pointe. Le continent européen a ainsi pu constater pour son propre compte et faire constater au reste du monde les résultats exceptionnels qu'une volonté politique de coopération permet d'obtenir dans les domaines de haute technologie indispensables à la conquête de l'espace.

Constations ici que tout ceci n'a pu être réalisé que grâce à une action concertée, coordonnée et guidée par le Conseil et l'Exécutif de l'Agence en coopération avec des entités nationales et l'industrie européenne. Nous avons mis nos ressources en commun et accepté les compromis que dictaient nos objectifs et nous avons mis en oeuvre la politique spatiale et les programmes qui découlaient de ces objectifs.

Ces efforts ont abouti aux résultats suivants:

- Les nations européennes ont montré qu'ensemble elles sont capables non seulement de fournir des produits spatiaux de première qualité mais également de coopérer entre elles avec efficacité et de façon rentable. Si elles n'avaient pu en faire la démonstration, les autres projets de coopération européens en auraient été sans nul doute gravement affectés.

- La communauté technologique européenne a fait la preuve de sa compétence sur les plans scientifique et technique; l'Europe ne s'est pas contentée de participer à des organisations mondiales exploitant des systèmes spatiaux opérationnels (INTELSAT, INMARSAT) et de leur fournir du matériel, elle a également mis sur pied des organisations régionales chargées de l'exploitation de systèmes à satellite réalisés en Europe, par exemple EUTELSAT et EUMETSAT. Un échec dans ces domaines aurait privé les utilisateurs européens des avantages des techniques spatiales et aurait contraint l'Europe à se procurer ailleurs les matériels et les services qu'elle se montre maintenant capable de développer elle-même.

- L'industrie européenne a montré son aptitude à se restructurer et à constituer des groupements industriels capables de s'attaquer à des

projets technologiques importants et mettant en jeu d'importantes sommes d'argent; elle a en outre commencé sa pénétration du marché spatial et d'autres marchés faisant appel à des technologies connexes de haut niveau où elle peut espérer s'assurer ultérieurement une bonne part des emplois nouvellement créés.

- Dans un monde où le progrès économique est dominé par le développement des communications au sens large, l'économie européenne dans son ensemble est maintenant en mesure – grâce aux systèmes régionaux ou nationaux de télécommunications existants ou qui doivent être créés prochainement (EUTELSAT, Royaume-Uni, France, Allemagne, Italie, Suède) – de profiter des avantages qui découlent de l'introduction de services de télécommunications nouveaux et d'une plus grande souplesse.
- Enfin, l'industrie européenne a fait la preuve de sa compétence dans le domaine des lanceurs où elle enregistre maintenant des succès commerciaux. Elle est en outre techniquement capable de s'attaquer au domaine des systèmes de protection de la vie de l'équipage lors des vols habités.

Les principales questions qui se posent à ce stade sont les suivantes:

- Devons-nous poursuivre nos efforts dans la même direction, c'est-à-dire en nous fondant sur les réalisations des Paquets de programmes de 1971 et 1973? ou
- Devons-nous maintenant revoir de fond en comble l'ensemble de la politique spatiale européenne et définir de nouveaux objectifs pour les 15 à 20 années à venir?

NECESSITE D'UNE POLITIQUE ET D'UN PROGRAMME A LONG TERME DANS LE DOMAINE SPATIAL

A l'inverse de la situation qui prévalait dans la première phase des recherches spatiales, ce sont maintenant les objectifs économiques qui constituent le principal stimulant de l'effort spatial (les arguments avancés par les Etats-Unis à l'appui de leur décision de réaliser une station spatiale sont presque exclusivement fondés sur le potentiel commercial qu'offrira cette station). Ce serait néanmoins une erreur pour l'Europe de donner une priorité absolue aux avantages à court terme – en exploitant de façon intensive le potentiel qu'elle a récemment constitué – sans définir une stratégie pour l'avenir. En d'autres termes, si l'Europe se contente de consolider sa position actuelle, elle risque, compte tenu de la décision des Etats-Unis d'entreprendre la réalisation de la station spatiale, de prendre un important retard dans le domaine technique et, de ce fait, de compromettre une fois encore sa compétitivité et son indépendance.

Dans le domaine des lanceurs, où l'Europe connaît avec Ariane des succès techniques et commerciaux, l'objectif initial – qui était de dispoer de moyens autonomes pour le lancement de satellites – n'est plus suffisant et les efforts sont maintenant axés, au-delà de l'indépendance de l'Europe, sur sa compétitivité commerciale, objectif qui est étroitement lié à une amélioration de la fiabilité.

Bien que les remarques qui précèdent visent principalement au maintien et à l'amélioration, jusqu'à un niveau qui reste à définir, du potentiel de l'Europe en matière de 'Systèmes de transport spatial' au sens large, il importe de ne pas renouveler les erreurs du passé – c'est-à-dire considérer la mise au point d'une infrastructure orbitale comme un objectif en soi – mais plutôt l'envisager comme un moyen d'assurer le soutien à des missions scientifiques ou d'applications clairement énoncées au départ. En d'autres termes, si de nouvelles 'infrastructures' sont réalisées, leur utilisation doit figurer au programme en tant qu'élément destiné à répondre aux besoins des applications et de la science spatiales.

Il existe une autre raison de reconsidérer nos activités futures, à savoir que le contexte général dans lequel certaines activités de l'Agence avaient été décidées dans le passé a évolué. Il pourrait par exemple être nécessaire de réexaminer le rôle de l'Agence dans le domaine des télécommunications, y compris son secteur sol, en raison même des succès qu'elle a enregistrés: mise sur pied de systèmes opérationnels exploités par d'autres entités et création de structures industrielles capables de traiter directement avec les clients.

Dans ce réexamen, il conviendrait toutefois de tenir pleinement compte du fait que la préparation de systèmes et de technologies de pointe ne peut être actuellement financée en totalité par l'industrie ou les organismes exploitants.

Un autre sujet de préoccupation apparaît touchant les programmes européens futurs lorsque l'on considère le profil des dépenses de l'Agence pour les programmes prévus, même si l'on y inclut ceux qui ont été proposés mais ne sont pas encore approuvés: cet examen révèle en effet une diminution extrêmement brusque (de l'ordre de 50%) du total des dépenses de l'Agence dès 1986. Ne pas engager prochainement de nouveaux programmes pour prendre la suite des grands projets exécutés au cours de la dernière décennie conduirait à mettre en question le potentiel actuel de l'Agence, voire sa 'raison d'être'...

D'autre part, et c'est là un élément encourageant, un certain nombre d'initiatives se sont manifestées au plan national qui pourraient s'intégrer dans une perspective à long terme de l'effort spatial européen: la première phase du développement du lanceur futur, proposée par la France; le programme Columbus à réaliser en coopération avec les Etats-Unis, proposé par l'Allemagne et l'Italie. Il reste toutefois à définir clairement le lien entre ces initiatives, leurs objectifs finals et de quelle façon ces programmes peuvent être intégrés dans cette stratégie européenne globale. C'est pourquoi l'Exécutif recommande d'intégrer ces deux propositions (éventuellement modifiées ou complétées) dans un programme à long terme cohérent.

Enfin, le moment n'est-il pas venu de définir pour l'Europe un nouvel objectif spatial, à la dimension européenne, qui témoignerait au niveau politique le plus élevé de son existence et de sa capacité en tant qu'entité, qui mobiliserait l'opinion publique et ranimerait l'enthousiasme que suscitaient au départ les activités spatiales?

Pour toutes ces raisons, les Etats membres devraient parvenir dès que possible à un consensus sur un ensemble d'objectifs pour l'horizon 2000, permettant ainsi

l'élaboration d'un programme à long terme qui servirait de cadre aux futures activités spatiales européennes.

OBJECTIFS IMMEDIATS ET OBJECTIFS A LONG TERME DES ACTIVITES EUROPEENNES

Il est indispensable que les pays européens s'accordent, pour leurs activités spatiales, sur des objectifs communs qu'ils soient à même de bien comprendre et d'apprécier. Ceci est important pour les raisons suivantes:

(a) Au départ les objectifs peuvent varier, et c'est en fait souvent le cas, d'un pays à l'autre.

(b) Un accord global sur un ensemble d'objectifs concordants débouchera sur un programme cohérent.

(c) Les importants crédits consacrés à l'espace (quelque 17 milliards d'UC en 1983 aux Etats-Unis (dépenses militaires comprises) et environ 1,7 milliard d'UC en 1983 en Europe (programmes ESA et programmes nationaux réunis) doivent être justifiés en termes d'objectifs à moyen et à long terme pour expliquer à quoi correspondent ces dépenses.

Les objectifs doivent être non seulement énoncés clairement mais pleinement acceptés par les Etats qui coopèrent dans le cadre de l'Agence. Un examen des objectifs possibles montre qu'ils peuvent être déterminés à partir de deux types de questions:

Pourquoi un effort spatial à l'échelle mondiale est-il nécessaire? et *Comment se justifient les très importants investissements qui y sont consacrés dans l'ensemble du monde?*

Nous sommes convaincus que l'exploration de l'espace contribuera à l'amélioration de la vie sur notre planète en permettant de mieux comprendre la Terre et son environnement, en améliorant les communications, etc. Du point de vue européen, il est indispensable de poursuivre cette exploration de l'espace pour:

- promouvoir la science spatiale qui a constamment tiré avantage des vols spatiaux depuis les premiers lancements effectués au début des années 60;
- intensifier l'exploitation commerciale/opérationnelle de l'espace qui s'est développée récemment dans les domaines des télécommunications et de la météorologie et renforcer la compétitivité de l'industrie européenne grâce à des systèmes d'avant-garde et à des développements technologiques;
- préparer les voies à l'utilisation de la microgravité dans l'espace (science des matériaux, etc.);
- se préparer en vue de l'important apport des techniques spatiales dans les sciences de l'observation de la Terre et leurs applications;
- préparer, pour le long terme, des moyens autonomes de soutien de l'homme en orbite, de transport des matériels et des équipages et d'exploitation des orbites basses;
- améliorer la compétitivité des lanceurs en ce qui concerne l'orbite des satellites géostationnaires (GEO) et l'étendre à l'orbite terrestre basse (LEO).

Outre les objectifs énumérés succinctement ci-dessus, les deux superpuissances, Etats-Unis et URSS, ont également des objectifs militaires spécifiques.

En quoi la formule considérée offre-t-elle aux Etats européens la possibilité de contribuer conjointement, efficacement et économiquement à l'aventure spatiale de l'humainité – et de ce fait de participer ensemble à l'entreprise spatiale globale?

La coopération dans le domaine spatial a, dans l'ensemble, été fructueuse en Europe et nous croyons que cette coopération reste nécessaire pour:

- maintenir la cohésion et l'unité de l'Europe et renforcer son autonomie et son indépendance;
- préserver l'identité culturelle et historique de l'Europe;
- améliorer la compétitivité de l'Europe dans les domaines scientifiques de pointe et les technologies avancées, grâce notamment à la coopération entre pays;
- améliorer les structures industrielles de l'Europe en permettant aux industries utilisant les technologies avancées de remplacer celles qui sont en perte de vitesse.
- s'assurer du marché européen pour les développements réalisés par l'Europe.

Le programme européen, tel qu'il a évolué depuis 1971, s'est révélé jusqu'à présent tout à fait approprié pour atteindre les objectifs énumérés en termes très généraux ci-dessus. Toutefois, les activités spatiales n'ayant pas progressé également dans tous les domaines par rapport aux objectifs, les investissements prévus différeront d'un domaine à l'autre. Par exemple, les ressources nécessaires

- pour améliorer notre compétitivité dans le domaine des télécommunications ou
- affirmer notre compétence dans le domaine de l'observation de la Terre ou celui de la microgravité

sont beaucoup plus modiques que celles qu'implique la réalisation des objectifs dans le domaine des vols habités et des lanceurs.

Cependant, le renforcement de la coopération européenne au sein de l'ESA permettra sans nul doute d'atteindre tous les objectifs et cette démonstration de la solidarité européenne se traduira par un accroissement des bénéfices pour tous en Europe.

Enfin, ces activités nouvelles et qui portent sur des domaines de pointe présentent des avantages strictement pratiques en ce sens qu'elles créent des emplois, contribuent à l'amélioration globale du savoir-faire technologique et à l'utilisation de moyens techniques et de méthodes de gestion d'avant-garde.

Ce que nous proposons plus haut est une série d'objectifs très ambitieux exprimés en termes généraux. La prochaine étape consistera à traduire ces objectifs sur le plan technique, en les assortissant de dates-objectifs, dans les divers secteurs des activités spatiales. Ces objectifs techniques, de caractère encore général, seront à leur tour ventilés en différents programmes et organisés par étapes successives en un programme à long terme.

Ces étapes successives correspondront non seulement à une proposition technique complète mais également à une estimation des besoins annuels moyens de financement à couvrir par l'Europe.

VERS UN NOUVEAU PAQUET DE PROGRAMMES EUROPEEN A LONG TERME

Se fondant sur cette base, l'Exécutif se propose d'élaborer une proposition de programme à long terme qui présentera les principales caractéristiques suivantes:

(a) Il sera '*intégré*' en ce sens que:
- les politiques/aspirations/potentiels nationaux y seront dans toute la mesure possible intégrés en un plan cohérent;
- le développement des infrastructures (lanceurs, infrastructure orbitale) sera étroitement lié aux besoins des utilisateurs: en d'autres termes, l'utilisation des éléments d'infrastructure fera partie intégrante de l'ensemble du programme;
- deux mécanismes seront établis, l'un de gestion générale (au niveau de l'Exécutif), l'autre de caractère institutionnel (au niveau du Conseil) pour suivre et coordonner les divers éléments du programme auquel tous les Etats membres se seront engagés à participer.

(b) Ce programme sera réalisé *par étapes* afin de permettre d'éventuelles réorientations. S'il est possible d'en définir clairement les objectifs fondamentaux sur une période très étendue (15 à 20 ans), la traduction de ces objectifs en un plan est fonction d'hypothèses de base qui sont probables mais non certaines. C'est pourquoi le programme global à long terme sera scindé en plusieurs phases qui auront chacune des objectifs 'intermédiaires', qui seront atteints par étapes progressives, ménageant la possibilité de réorientations techniques ou de modifications de calendrier.

(c) Ce programme sera '*équilibré*' en ce sens qu'il couvrira la totalité des objectifs et des principaux secteurs des activités spatiales (science, applications, systèmes de transport) sans léser les perspectives à long terme au profit des bénéfices à court ou moyen terme ou vice et versa.

(d) Enfin, il tiendra compte d'une '*coopération*' avec les Etats-Unis, considérée non comme un objectif en soi mais comme un moyen pour l'Europe d'atteindre ses propres objectifs plus rapidement et plus économiquement.

Mesures à prendre

A partir des objectifs généraux ci-dessus, l'Exécutif, suivant la ligne de conduite indiquée pour l'élaboration du cadre général d'un programme à long terme et compte tenu des débats qui auront lieu au Conseil et des suggestions des Délégations, préparera une proposition de programme à long terme pour la session de juin du Conseil.

Cette proposition prévoiera notamment:
- un programme scientifique dont le niveau s'élèvera lentement;

- des activités 'lanceur' comportant comme première étape le programme de grand moteur cryogénique;
- des activités 'station spatiale' couvrant la coopération avec la NASA, le concept Columbus et d'autres éléments d'infrastructure nécessaires;
- un programme d'observation de la Terre devant prendre la suite d'ERS-1 phase C/D;
- un programme de télécommunications prévoyant la poursuite des activités préparatoires en cours et comportant des développements technologiques, des essais en vol de ces nouvelles technologies et de nouveaux services;
- un programme de microgravité et, enfin,
- un programme d'utilisation complet de tous les éléments d'infrastructure en cours de développement ou prévus (Spacelab, Eureca, éléments de station spatiale, relais de données);
- un programme de technologie de base et de technologie de soutien pour la préparation de toutes ces activités.

Ce programme global à long terme comportera un calendrier des principales étapes et il fera l'objet d'une estimation financière provisoire. Un calendrier des différentes décisions (à prendre au cours des deux ou trois prochaines années) sera également proposé.

Après la session de juin du Conseil, l'Exécutif se propose, par des discussions bilatérales avec tous les Etats membres et compte tenu de l'état des négociations en cours avec les Etats-Unis, de rédiger une proposition définitive à soumettre au Conseil.

Annexe I

PRESIDENTS DU CONSEIL ELDO

M. G. Bock *(Allemagne)*	1964–66
M. A.C. Paternotte de la Vaillée *(Belgique)*	1967
Gén. R. Aubinière *(France)*	1968–70
M. W.J. Schmidt-Kuster *(Allemagne)*	1971
M. E.A. Plate *(Pays-Bas)*	1972–73

SECRETAIRES GENERAUX ELDO

M. R. di Carrobio *(Italie)*	1964–72
Gén. R. Aubinière *(France)*	1972–73

PRESIDENTS DU CONSEIL ESRO

Sir H. Massey *(R-U)*	1964
Dr. A. Hocker *(Allemagne)*	1965–67
Prof. H.C. van de Hulst *(Pays-Bas)*	1968–70
Prof. G.P. Puppi *(Italie)*	1971–72
Prof. M. Lévy *(France)*	1973–75

DIRECTEURS GENERAUX ESRO

Prof. P. Auger *(France)*	Mar. 1964 – Oct. 1967
Prof. H. Bondi *(R-U)*	Nov. 1967 – Avr. 1971
Dr. A. Hocker *(Allemagne)*	Avr. 1971 – Jun. 1974
Mr. R. Gibson *(R-U)*	Jul. 74 – Avr. 75 (interim)

PRESIDENTS DU CONSEIL ESA

Dr. W. Finke *(Allemagne)*	1975–78
M. J. Stiernstedt *(Suède)*	1978–81
Prof. H. Curien *(France)*	1981–84

DIRECTEURS GENERAUX ESA

Mr. R. Gibson *(R-U)*	Avr. 1975 – Mai 1980
Mr. E. Quistgaard *(Danemark)*	Mai 1980 – . . . 1984

Annexe II

Les effectifs (1961–1983)

Année	ELDO	ESRO	Total
1961	–	9	9
1962	53	63	116
1963	110	165	275
1964	130	444	574
1965	Chiffres non disponibles	615	615
1966		827	827
1967		953	953
1968		1119	1119
1969	338	1234	1572
1970	376	1315	1691
1971	398	1298	1696
1972	419	1204	1623
1973	534	1202	1536
1974	15	1371	1386
		ESA	
1975		1453	
1976		1486	
1977		1491	
1978		1427	
1979		1412	
1980		1414	
1981		1403	
1982		1378	
1983		1357	

Annexe III

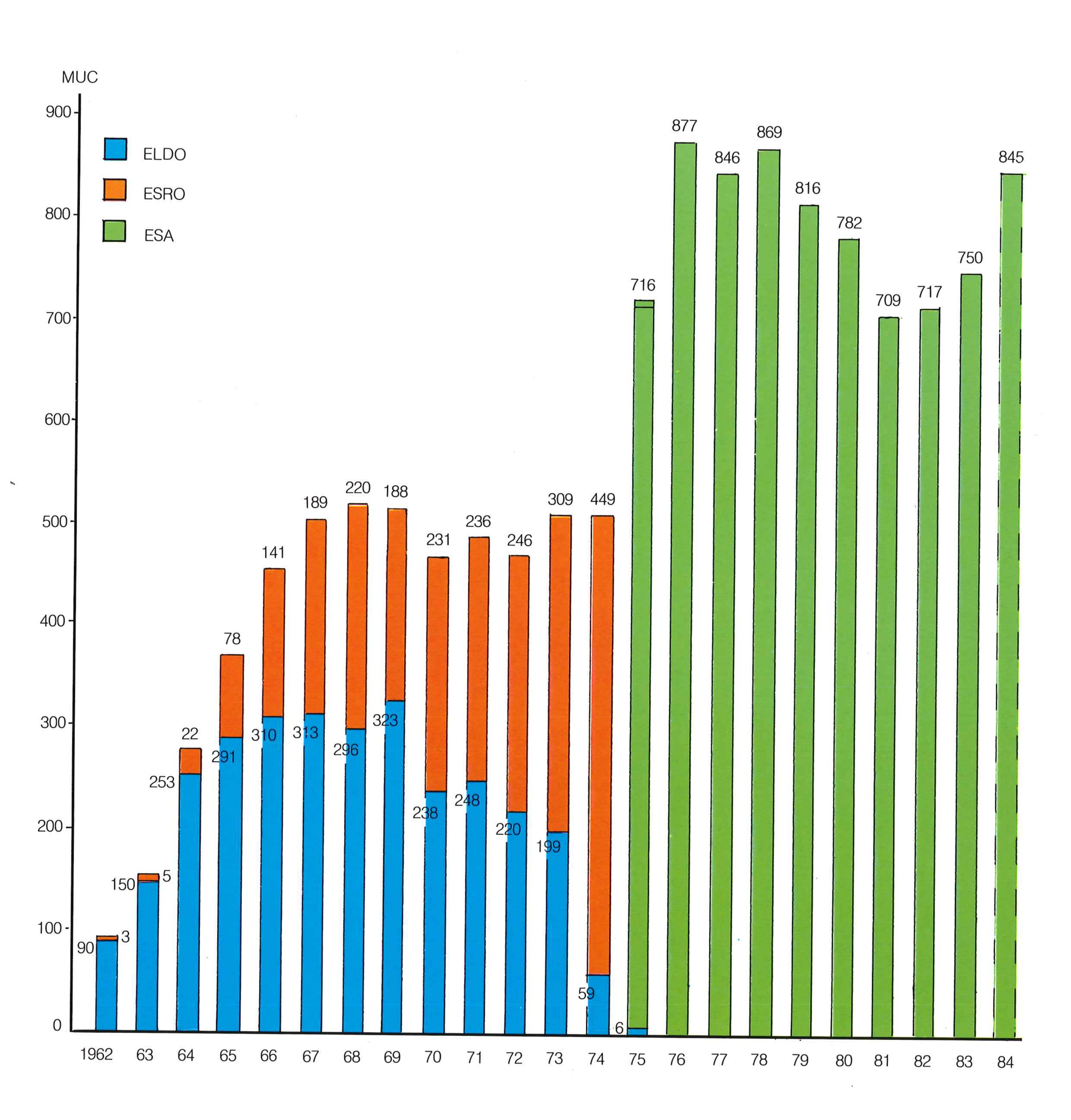
Dépenses annuelles 1961–83 (en MUC)

	ELDO			ESRO			ESA		
	prix courants	prix 1972	prix 1983	prix courants	prix 1972	prix 1983	prix courants	prix 1972	prix 1983
1961				0.1		0.5			
1962	19	31	90	0.6	1	3			
1963	33	52	150	1	1.6	5			
1964	57	87	253	5	8	22			
1965	71	101	291	19	27	78			
1966	79	107	310	36	49	141			
1967	81	108	313	49	65	189			
1968	78	102	296	58	76	220			
1969	91	112	323	53	65	188			
1970	71	82	238	69	80	231			
1971	79	86	248	75	81	236			
1972	76	76	220	85	85	246			
1973	74	69	199	115	107	309			
1974	25	21	59	189	155	449			
1975	3	2.2	6	–			345	247	716
1976	0.4	0.3	0.8	–			467	303	877
1977	0.7	0.4	1.2	–			493	293	846
1978	0.2	0.1	0.3	–			546	300	869
1979	–			–			565	282	816
1980	–			–			600	270	782
1981	–			–			603	245	709
1982	–			–			673	248	717
1983	–			–			750	259	750
1984	–			–			900	290	845

Variations économiques prix/taux applicables aux dépenses annuelles ESRO/ESA

Document de référence	Période de variation	Variation prix/taux annuelle %	Coefficient multiplicateur pour une base 100 en		
			1962	1972	1983
ESRO/AF/898	mi-1962		1,00	1,640	4,746
	mi-1962/mi-1963	+ 4,2	0,960	1,574	4,555
	mi-1963/mi-1964	+ 2,7	0,934	1,533	4,435
	mi-1964/mi-1965	+ 8,1	0,864	1,418	4,103
	mi-1965/mi-1966	+ 4,6	0,826	1,355	3,922
	mi-1966/mi-1967	+ 1,5	0,814	1,335	3,864
	mi-1967/mi-1968	+ 1,7	0,801	1,313	3,800
ESRO/FIN/WP(72)3 Annexe 1	mi-1968/mi-1969	+ 7,0	0,748	1,227	3,551
	mi-1969/mi-1970	+ 6,0	0,706	1,158	3,350
	mi-1970/mi-1971	+ 6,6	0,662	1,086	3,143
ESRO/AF(72)89	mi-1971/mi-1972	+ 8,6	0,610	1,00	2,894
ESRO/AF(73)74	mi-1972/mi-1973	+ 7,8	0,566	0,928	2,684
ESRO/AF(74)99	mi-1973/mi-1974	+ 12,9	0,501	0,822	2,378
ESA/AF(75)38	mi-1974/mi-1975	+ 14,6	0,437	0,717	2,075
ESA/AF(76)89	mi-1975/mi-1976	+ 10,4	0,396	0,649	1,879
ESA/AF(77)65	mi-1976/mi-1977	+ 9,5	0,362	0,593	1,716
ESA/FIN(78)13	mi-1977/mi-1978	+ 7,8	0,335	0,550	1,592
ESA/FIN(79)15	mi-1978/mi-1979	+ 10,2	0,304	0,499	1,445
ESA/FIN(80)21	mi-1979/mi-1980	+ 10,8	0,275	0,451	1,304
ESA/FIN(81)14	mi-1980/mi-1981	+ 11,0	0,248	0,406	1,175
ESA/FIN(82)12	mi-1981/mi-1982	+ 10,3	0,224	0,368	1,065
ESA/FIN(83)22	mi-1982/mi-1983	+ 6,5	0,211	0,346	1,00

Dépenses annuelles en prix constants (MUC 1983)



Annexe IV

Programmes d'opérations et de développement

En orbite

PROJET		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	NOTES
PROGR. SCIENTIFIQUE	ISEE-B								
	IUE								
	EXOSAT								LANCEMENT 26 MAI
PROGRAMME APPLICATIONS	OTS-2								
	MARECS-A								
	METEOSAT-1								EXPL. LIMITEE (DCP)
	METEOSAT-2								

En développement

PROJET		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	NOTES
PROGRAMME SCIENTIFIQUE	TELESCOPE SPATIAL								DUREE 11 ANS
	ISPM								DUREE 4,5 ANS
	HIPPARCOS								CALENDRIER PROVISOIRE
	GIOTTO								RENCONTRE AVEC HALLEY: MARS 86
PROGRAMME D'APPLICATIONS	ECS-1 & 2								ECS 1: LANCEMENT 16 JUIN
	ECS-3, 4 & 5								SEULT. POUR REMPLACER ECS-1 ET 2 SI NECESSAIRE
	MARECS-B								DUREE 5 ANS
	OLYMPUS-1								DUREE 5 ANS
	ERS-1								LANCEMENT: MI-88
PROGRAMME SPACELAB	SPACELAB	FLIGHT 1		FLIGHT 2					
	SPACELAB FOP								
	IPS								
	FSLP								
	MICROGRAVITE								
	EURECA								
PROGRAMME ARIANE	PRODUCTION ARIANE	L6 L7 L8 L9 L10 L11 L12							LANCEMENT ARIANESPACE (V11)
	ARIANE 3 - FOD								
	ARIANE 4								
	ELA 2								

= PHASE DEFINITION
~ INTEGRATION
> PHASE PREPARATOIRE
↑ PRET AU LANCEMENT
▨ PHASE DEVELOPT. PRINCIPAL
✱ OPERATIONS
STOCKAGE
→ EXTENSION POSSIBLE
◇ LIVRAISON DU MATERIEL
↓ RECUPERATION

